Kwaliteitsnorm enkelvoudige storingsreserve in het Nederlandse hoogspanningsnet

Augustus 2013

Managementsamenvatting

Achtergrond en doelstelling

De elektriciteitsnetten die in bedrijf zijn op een spanningsniveau van 110 kV en hoger maken onderdeel uit van het landelijk transportnet. Op deze voor de continuïteit van de stroomvoorziening belangrijke landelijke transportnetten is op grond van artikel 31 van de Elektriciteitswet de norm van enkelvoudige storingsreserve, ook wel aangeduid als “N-1 kwaliteitsnorm”, van toepassing. Deze kwaliteitsnorm houdt in dat het systeem zo ontworpen is dat een enkele storing van een willekeurig netelement niet leidt tot een onderbreking van de levering bij de eindgebruiker. De kwaliteitsnorm is van toepassing als het net volledig in bedrijf is en ook als een deel of delen van het net uit bedrijf zijn voor onderhoudswerkzaamheden. De onderhoudsituatie is daarbij de meest "zware" bedrijfstoestand om te voldoen aan de kwaliteitsnorm omdat er in zo'n situatie al delen van het net niet beschikbaar zijn.

Doel van de “N-1 norm" is een hoog betrouwbaarheidsniveau van het elektriciteitsnet om zodoende de leveringszekerheid van elektriciteit te garanderen. De N-1 norm is vastgelegd in artikel 31 van de Elektriciteitswet 1998. De enige uitzondering die artikel 31 Elektriciteitswet maakt op de N-1 norm staat in artikel 31, lid 13. Deze bepaling laat een beperkte stroomonderbreking toe door optredende storingen tijdens onderhoud aan de 110/150kV netten. Deze stroomonderbreking is qua duur en omvang beperkt tot 6 uur en 100 MW (vergelijkbaar met een kleine stad).

De N-1 norm is praktisch uitgewerkt in de Ministeriële regeling Tariefstructuren en Voorwaarden Elektriciteit en in de door ACM vastgestelde Netcode. Gebleken is dat deze lagere regelgeving meer uitzonderingen toelaat op de enkelvoudige storingsreserve dan de Elektriciteitswet 1998. Deze uitzonderingen zijn toegespitst op de praktijk en geven de netbeheerders mogelijkheden om een doelmatige invulling van de leveringszekerheid te realiseren. Daarin is ruimte voor risico- en kosten-baten afwegingen. Artikel 31 van de Elektriciteitswet biedt deze ruimte niet. Deze discrepantie moet worden opgeheven om praktijk en regelgeving met elkaar in overeenstemming te brengen zonder dat dit tot ondoelmatige investeringen leidt. Het Ministerie van Economische Zaken (verder: EZ) heeft samen met TenneT, Netbeheer Nederland, Regionale Netbeheerders en met commentaar en advies van ACM geanalyseerd op welke wijze dit zou kunnen en doet hiervoor een aantal aanbevelingen.

Methodiek

In deze rapportage is geanalyseerd:

- hoe groot de kans is dat bepaalde elementen in het net (zoals masten, transformatoren, railsystemen en circuits) falen en wat daarvan de economische en maatschappelijke impact is;
- welke maatregelen zowel de kansen op, als de effecten van stroomstoringen ten gevolge van storingen aan bepaalde elementen of tijdens bepaalde situaties, kunnen verminderen;
- wat de maatschappelijke kosten en baten (MKBA) zijn van investeringen in enkelvoudige storingsreserve bij deze elementen of situaties;

Voor deze analyse is gebruik gemaakt van verschillende bronnen: "best practices" in het buitenland, deskundigheid bij de netbeheerders, statistische data waaronder de landelijke storingsdatabase Nestor[1] en relevante onderzoeken[2].

Conclusies

Op grond van de analyse wordt geconcludeerd dat om te voldoen aan de strikte kwaliteitseisen van artikel 31 van de E-wet, grootschalige investeringen in het elektriciteitsnet nodig zijn door netbeheerders in meer

---

[1] Opgemerkt wordt dat de door de netbeheerders bijgehouden storingsregistratie (Nestor) slechts een beperkt aantal jaren beslaat in vergelijking tot de kleine kansen van de geanalyseerde gebeurtenissen. waardoor er een zekere spreiding op de berekende kansen is.

[2] Voor de MKBA is aangesloten bij de methodiek in het rapport "MKBA investeringen netuitlopers", uitgevoerd door SEO economisch onderzoek in opdracht van TenneT, 2009.

redundantie. Deze bedragen circa 7 miljard euro. Daarnaast heeft dit grote ruimtelijke en maatschappelijke gevolgen zoals meer doorsnijdingen van het landschap met bovengrondse hoogspanningslijnen.
Gezien de al zeer hoge betrouwbaarheid van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening zijn dergelijke grote investeringen niet proportioneel en doelmatig. Om een indicatie van de betrouwbaarheid te geven: in 2012 bedroeg de totale jaarlijkse uitvalduur 27 minuten. Dit betekent dat de elektriciteitslevering bij een gemiddelde klant in Nederland 27 minuten onderbroken was. De elektriciteitslevering was daarmee 99,99486% van de tijd beschikbaar en daarmee behoort Nederland de top 3 van Europa. Storingen in de netten met een spanning van 110kV en hoger hebben in 2012 minder dan 1 minuut bijgedragen aan de jaarlijkse uitvalduur.
De proportionaliteit van investeringen kan worden bepaald door op basis van een risico-inschatting (kans op stroomstoring x effect ervan) een maatschappelijke kosten-baten afweging te maken. Een risicogerichte benadering van kwaliteitsnormen leidt in bepaalde gevallen tot betere maatschappelijke uitkomsten. De E-wet zou deze benadering in bepaalde, duidelijk omschreven gevallen mogelijk moeten maken. Overigens is deze benadering niet nieuw. Al in 2007 heeft EZ de wenselijkheid hiervan aan de Tweede Kamer gecommuniceerd. De analyse geeft aanbevelingen voor een kader waarmee disproportionele investeringen kunnen worden voorkomen.

Aanbevelingen
Op basis van een risico gerichte benadering worden een aantal aanbevelingen gedaan. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:
- het voorkomen van ondoelmatige investeringen: er moet een juiste balans zijn tussen investeren in collectieve voorzieningen en de individuele “verzekering” van bedrijven en burgers tegen schade door stroomstoringen;
- het huidige niveau van betrouwbaarheid van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening wordt op zijn minst gehandhaafd.
- rekening houden met de maatschappelijke en politieke wens om meer hoogspanningslijnen te verkabelen en daar waar mogelijk bovengrondse lijnen met een spanning van 220kV of hoger (EHS) te combineren op één mast om planologische redenen.

Samenvattend komen de aanbevelingen erop neer dat de kwaliteitsnormen voor netten met een spanning van 110kV en hoger hoofdzakelijk deterministisch worden vastgelegd. Deze deterministische eisen zijn een vertaling van de risico gebaseerde afwegingen waardoor er in aanvulling op het algemene uitgangspunt van enkelvoudige storingsreserve een aantal uitzonderingen op de enkelvoudige storingsreserve mogelijk gemaakt worden in de Elektriciteitswet 1998. Deze uitzonderingen worden op maatschappelijk verantwoorde wijze gedefinieerd zodat de effecten begrensd zijn. Dit sluit in belangrijke mate aan bij de bestaande praktijk en die is veelal al vastgelegd in lagere regelgeving zoals de Ministeriele Regeling Tariefstructuren en Voorwaarden. Daarnaast wordt voorgesteld om voor wat betreft railsystemen in hoogspanningsstations en netuitlopers de eisen voor enkelvoudige storingsreserve die in de praktijk nu gangbaar zijn aan te scherpen om de mogelijke omvang van het effect te beperken.

De geadviseerde uitzonderingen op de enkelvoudige storingsreserve betreffen:

- het uitzonderen van masten van de enkelvoudige storingsreserve;
- het in 110/150kV netten toestaan van een korte stroomonderbreking van maximaal 10 minuten en een belasting van maximaal 100 MW (kleine stad);
- het uitzonderen van verplichte enkelvoudige storingsreserve voor aansluitingen van grootverbruikers, producenten en ontheffinghouders op het hoogspanningsnet;

- het toestaan van een stroomonderbreking van maximaal 48 uur en maximaal 100 MW bij reparatie, vervanging en modificatie van kabel gevoede netuitlopers, HS/MS-transformatoren en GIS[3]-systemen;

  Opgemerkt wordt dat de kans dat er daadwerkelijk een langdurige onderbreking plaatsvindt bij een reparatie, vervanging of modificatie zeer klein is. In het ongelukkige geval dat daadwerkelijk een onderbreking plaatsvindt met een lange hersteldduur, kan reactief, bijvoorbeeld via inzet van noodstroom aggregaten, een deel van de belasting tussentijds van spanning voorzien worden. Zoals door de minister gerapporteerd aan de Tweede Kamer, staan (op basis van het E-Bridge rapport[4]) de benodigde investeringen voor het proactief grootschalig inzetten van noodstroom aggregaten niet in verhouding tot het risico. Wel denkt de sector dat er geïnnoveerd kan worden in concepten en faciliteiten die het sneller en grootschaliger aansluiten van noodstroom aggregaten mogelijk maken.

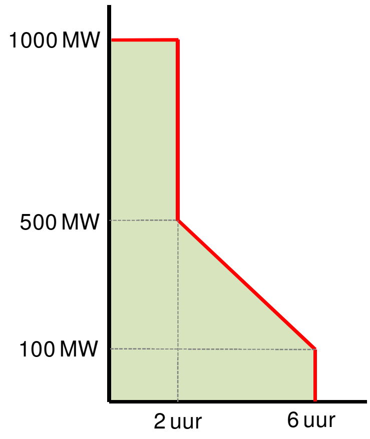
- Voor bestaande, door kabel gevoede uitlopers en GIS-systemen tijdelijk (overgangstermijn) een onderbrekingsduur maximaal 4 dagen toestaan in verband met oudere technologieën;

  Om aan deze beperking te kunnen voldoen moeten tevens de zes uitlopers die gevoed worden door UGD-kabeltechnologie[5] versneld opgelost worden. UGD-kabel technologie geeft kans op een maximale onderbrekingsduur van 14 dagen. Het oplossen van deze uitlopers vereist een investering van 45 miljoen euro, bovenop de reeds aangekondigde 127 miljoen euro voor het oplossen van de grote uitlopers.

- het handhaven van de huidige uitzondering in artikel 31, lid 13 van de E-wet om voor de netten met een spanningsniveau van 110 kV en 150 kV tijdens onderhoud een stroomonderbreking van maximaal 6 uur en een belasting van maximaal 100 MW in een onderliggend net toe te staan.

<u>De aanscherpingen van de enkelvoudige storingsreserve ten opzichte van de huidige praktijk betreffen:</u>

- het verplichten van enkelvoudige storingsreserve op railsystemen [6] van 110/150kV stations tijdens volledig in bedrijf zijnd net indien de belasting in het onderliggende net 100 MW of hoger is.
- railsystemen in netten met een spanning van 220kV en hoger tijdens onderhoud niet uit te zonderen van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige storing kan leiden tot:
  - een dusdanig verstoring van de grote (inter)nationale energietransporten dat belasting of productie op andere stations met hetzelfde spanningsniveau onderbroken raakt;
  - een onderbreking van meer dan 1.500 MW productie;
  - onderbreking van belasting in het onderliggende net die qua omvang en hersteltijd groter is dan de gedefinieerde maximale vermogen-tijd curve.



Figuur 1: toegestane onderbreking belasting als gevolg van een railstoring tijdens onderhoud.

- railsystemen in netten met een spanning van 110kV en 150kV tijdens onderhoud niet uit te zonderen van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige storing kan leiden tot:
  - een onderbreking van meer dan 1.500 MW productie;
  - onderbreking van belasting in het onderliggende net die qua omvang en hersteltijd groter is dan de gedefinieerde maximale vermogen-tijd curve.

[3] Gas Insulated Systems
[4] E-bridge, "Beleidsadvies N-1"; 7 december 2006
[5] UGD staat voor Uitwendig GasDrukpijp kabel, complexe kabeltechnologie waarmee herstel binnen 48 uur onmogelijk is.
[6] railsystemen zijn de knooppunten op een station waarmee alle verbindingen, transformatoren en aansluitingen verbonden zijn.

<u>Interpretatie van de curve voor de maximaal toegestane onderbreking van belasting</u>
Een enkelvoudige railstoring mag niet leiden tot een onderbreking van belasting hoger dan 1.000 MW. Twee uur na de railstoring zal de omvang van de onderbreking, door bijvoorbeeld bedrijfsvoeringmaatregelen, terug gebracht moeten zijn naar 500 MW of minder. Verder herstel van de onderbreking vindt plaats binnen de maximale vermogen-tijd lijn die loopt van 500 MW, 2 uur naar 100 MW, 6 uur. Na uiterlijk 6 uur moet de gehele onderbreking hersteld zijn.

Met bovenstaande aanbevelingen wordt de bestaande praktijk voor redundantie per netelement op zijn minst gehandhaafd en voor railsystemen verbeterd. De kosten voor aanpassingen op bestaande hoogspanningsstations bedragen ongeveer 193 miljoen euro. Nieuwe stations zullen in 30-50% van de gevallen ongeveer 10% duurder worden. In zijn totaal wordt de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening daarmee verhoogd ten opzichte van de huidige praktijk.

Omdat de aanbevelingen voor een deel een verzwaring geven ten opzichte van de huidige praktijk, moet er een wettelijke overgangstermijn voor bestaande situaties in de E-wet mogelijk gemaakt worden. Invulling van deze termijn en bijbehorende voorwaarden, kunnen in lagere regelgeving vastgelegd worden.

Zoals gezegd wordt in aanbevelingen ook rekening gehouden met de maatschappelijke en politieke wens om meer hoogspanningslijnen te verkabelen en daar waar mogelijk bovengrondse lijnen met een spanning van 220kV of hoger (EHS) te combineren op een mast om planologische redenen. Voor masten met meer dan twee circuits op een spanning van 220kV en hoger (EHS-EHS combilijnen) loopt op dit moment nog een onderzoek naar de noodzaak voor een mogelijke toekomstige begrenzing in het gebruik hiervan. Een begrenzing kan nodig zijn vanuit het perspectief van een betrouwbare elektriciteitsvoorziening.
Naar verwachting heeft het onderzoek van de EHS-EHS combilijnen geen grote gevolgen voor gemaakte aanbevelingen. Het onderzoek zou hooguit kunnen leiden tot de extra aanbeveling om in lagere regelgeving een extra toetsingscriterium op te nemen ten aanzien van de transportzekerheid bij het falen van een EHS-EHS combilijn. In dit kader zou het onderzoek ook gevolgen kunnen hebben voor hoogspanningsprojecten onder rijkscoördinatie die ontworpen worden met EHS-EHS combilijnen. Te denken valt met name aan mitigerende maatregelen om de effecten van uitval van combilijnen te beperken met als doel de transportzekerheid ook bij het falen van deze combilijnen te behouden.

Inhoud

1 Inleiding

Met de leveringszekerheid (transportzekerheid) van elektriciteit is een groot maatschappelijk en economisch belang gemoeid. Om die reden zijn in ieder geval de elektriciteitsnetten met een spanningsniveau van 110kV of hoger ((E)HS-netten) voorzien van een enkelvoudige storingsreserve. Dat houdt in dat ook indien er een storing optreedt, de leveringszekerheid is gewaarborgd. Op grond van wet- en regelgeving zijn netbeheerders verplicht om bij netten met een spanningsniveau van 110kV of hoger te voorzien in een enkelvoudige storingsreserve en in de praktijk is dit ook gerealiseerd. Evenwel is er gebleken dat er een discrepantie bestaat tussen de eisen die de Elektriciteitswet 1998 (hierna: de E-wet) aan de enkelvoudige storingsreserve stelt en hoe die enkelvoudige storingsreserve in de praktijk is vormgegeven. De praktijk is geënt op regelgeving vastgelegd in de Ministeriele Regeling Tarieven en Voorwaarden en de door de ACM vastgestelde Netcode. Er is in de loop der tijd dus een discrepantie ontstaan tussen de eisen van artikel 31 Elektriciteitwet 1998 en de eisen vastgelegd in secundaire regelgeving.

In artikel 31 van de E-wet is weinig tot geen rekening gehouden met bijzondere situaties en uitzonderingen op de enkelvoudige storingsreserve. De enige uitzonderingen die de E-wet noemt betreft de netten met een spanningsniveau van 110kV en 150kV. Bij deze netten is een uitzondering mogelijk op de verplichte redundantie, mits de storing als gevolg van uitval van een netelement niet langer duurt dan 6 uur en niet meer dan 100 MW belasting treft.

Als in de praktijk aan de huidige de tekst moet worden voldaan, moeten er aanzienlijke investeringen en technische aanpassingen in de hoogspanningsnetten worden gedaan. Deze investeringen zouden niet alleen door TenneT moeten worden gedaan in de netten met een spanning van 110kV en hoger, maar ook door regionale netbeheerders in de HS/MS-transformatoren en MS-installaties en door de Nederlandse industrie met een aansluiting op netten met een spanning van 110kV en hoger.

Concreet betreft dit investeringen in:

- Het voorkomen dat mastfalen tot onderbrekingen leidt;
- Het voorkomen van een korte onderbreking (maximaal 10 minuten en 100MW) in netten met een spanning van 110kV en 150kV (bij omschakeling van transformator);
- Het voorkomen van een onderbreking als gevolg van uitval van de tweede rail in onderhoudssituaties;
- Verplichte redundantie van de aansluiting van klanten op netten met een spanning van 110kV en hoger;
- Het uitfaseren van kabeltechnologie in uitlopers en GIS technologie vanwege de benodigde hersteltijd die langer is dan 6 uur bij reparatie, vervanging of modificatie.

Gezien het huidige al zeer hoge niveau van leveringszekerheid in Nederland is het zeer de vraag of deze investeringen proportioneel zijn in verhouding tot de verbetering van de leveringszekerheid die zij opleveren. De verwachting is dat veel investeringen disproportioneel zijn. Daar komt bij dat het voorkomen van mastfalen en het uitfaseren van kabeltechnologie in de praktijk zou leiden tot meer bovengrondse hoogspanningsverbindingen. Dit staat haaks op politieke beslissingen over investeringen in verkabeling en gebrek aan maatschappelijk draagvlak voor ruimtelijke inpassing van bovengrondse hoogspanningsverbindingen.

De verwachting is dat een meer risicogerichte benadering van kwaliteitscriteria in de wet tot betere maatschappelijke uitkomsten zal leiden. Aan deze risicogerichte benadering zijn eisen verbonden als betrouwbaarheid, transparantie en reproduceerbaarheid.

1.1 Aanpak

Om op een meer risicogerichte benadering invulling te geven aan de netontwerpcriteria heeft een projectgroep bestaande uit medewerkers van EZ, TenneT, Regionale Netbeheerders, Netbeheer Nederland, en met input van ACM, uitvoerig stilgestaan bij de afzonderlijke netelementen (masten, railsystemen, transformatoren etc.) die weliswaar onder de kwaliteitscriteria vallen maar vanwege het lage risico in aanmerking komen voor een risico gebaseerde uitzondering. Per netelement is in beeld gebracht wat de gevolgen zouden zijn om aan de strikte criteria van de huidige wettekst te moeten voldoen. Ook zijn de kansen en effecten van een storing als gevolg van uitval van een specifiek netelement benoemd. Vervolgens is een maatschappelijke kosten/baten analyse toegepast op het mitigeren van zowel deze kansen als de effecten.

Bij de maatschappelijke kosten - baten analyses zijn de kosten van een onderbreking van de stroomvoorziening bepaald op basis van het in 2009 door SEO uitgevoerde onderzoek voor TenneT naar de maatschappelijke kosten en baten bij uitlopers[7]. De kosten zijn in dit rapport gecorrigeerd voor inflatie.

De risicoanalyse per netelement en de maatschappelijke kosten baten afwegingen zijn uiteindelijk in één overzicht/figuur bijeen gebracht ten behoeve van een integrale afweging welke kwaliteitseisen aan de netten moeten worden gesteld.

Bij de afwegingen zijn zoveel mogelijk internationale ontwikkelingen betrokken, alsmede internationale best practices op het gebied van kwaliteitseisen, voor zover relevant voor de Nederlandse situatie en indien toetsbaar.

1.2 Leeswijzer

De opbouw van deze rapportage is als volgt:
Hoofdstuk 2 bevat een samenvatting en een overzicht van conclusies en aanbevelingen per netelement.
Naast een risicobenadering per netelement en de hier uit volgende gewenste kwaliteitseisen per netelement, is in hoofdstuk 3 een integrale toets gedaan op de onderlinge samenhang van deze eisen en hun gevolgen voor de betrouwbaarheid van het net in zijn geheel.
In hoofdstuk 4 wordt uitgelegd hoe redundantie in openbare elektriciteitsnetten geregeld is.
In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de maatschappelijke effecten en acceptatie/beleving van stroomstoringen.
In de daaropvolgende hoofdstukken 6 t/m 10 worden de diverse netelementen beschreven conform bovengenoemde aanpak. Elk van deze hoofdstukken begint met een samenvatting en aanbeveling, dan volgt een inhoudelijk deel en vervolgens wordt afgesloten met een opsomming van de afwegingen en conclusies. .

---

[7] SEO; "MKBA netinvesteringen netuitlopers"; SEO-rapport nr 2009-28; ISBN 978-90-6733-479-6; mei 2009.

2 Conclusies en aanbevelingen per onderwerp

<table>
<tr><th>Hoofdstuk</th><th>Item</th><th>Volledig in bedrijfzijnd net</th><th>Tijdens onderhoud</th></tr>
<tr><td>6</td><td>Mastfalen</td><td>• Masten uitzonderen van enkelvoudige storingsreserve
• Op basis onderzoek systeemstabiliteit bij falen EHS-EHS combi-lijnen evt aanvullend ontwerpcriterium dat systeemstabiliteit waarborgt</td><td>Idem</td></tr>
<tr><td>7</td><td>10min/100MW onderbreking toegestaan voor 110/150kV</td><td>• Uitzondering behouden voor doelmatigheid aansluitingen en uitlopers
• Conform huidige Netcode art 4.1.4.6</td><td>Uitzondering op enkelvoudige storingsreserve in huidige wettekst artikel 31, lid 13: 100MW - 6 uur</td></tr>
<tr><td rowspan="3">8</td><td>Railsystemen met 220kV en hoger</td><td>Enkelvoudige storingsreserve conform huidige praktijk</td><td>Alleen uitzonderen van enkelvoudige storingsreserve indien aan alle voorwaarden voldaan:
• Geen onderbreking van belasting en productie op ander stations op zelfde netvlak;
• Onderbreking productie niet groter dan 1.500 MW;
• Onderbreking belasting niet groter dan gedefinieerde vermogen-tijd curve.</td></tr>
<tr><td>Railsystemen 110/150kV</td><td>• Enkelvoudige storingsreserve indien belasting onderliggend net 100 MW of hoger.
• Onderbreking aansluitingen toegestaan mits kan worden omgeschakeld naar andere rail.</td><td>Alleen uitzonderen van enkelvoudige storingsreserve indien aan alle voorwaarden voldaan:
• Onderbreking productie niet groter dan 1.500 MW;
• Onderbreking belasting niet groter dan gedefinieerde vermogen-tijd curve.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Koppelvelden:
Direct met de railsystemen verbonden koppelvelden zijn uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve gedurende normaal bedrijf en onderhoud op voorwaarde dat bij een enkelvoudige storing in het koppelveld voldaan wordt aan de eisen die gesteld worden aan de bijbehorende railsystemen gedurende onderhoud situaties.

Railbeveiliging:
Railbeveiliging is uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>Hoofdstuk</th><th>Item</th><th>Volledig in bedrijfzijnd net</th><th>Tijdens onderhoud</th></tr>
<tr><td>9</td><td>Reparatie, vervanging en modificatie van uitlopers, GIS-systemen en transformatoren</td><td colspan="2">• Speciale sporadisch voorkomende activiteit waarbij een onderbreking van maximaal 100 MW en maximaal 48 uur is toegestaan in nieuwe situaties.
• Voor bestaande situaties geldt dat de onderbreking maximaal 4 dagen mag duren in plaats van 48 uur.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">10</td><td>Aansluitingen van grootverbruikers, producenten en ontheffinghouders</td><td>Aangeslotene maakt eigen afweging over gewenste redundantie.</td><td>Idem</td></tr>
<tr><td>Aansluitingen netbeheerders</td><td>Eisen gelijk aan eisen enkelvoudige storingsreserve netten met een spanning van 110kV en 150kV.</td><td>Idem</td></tr>
</table>

Mastfalen

- Masten dienen op basis van de huidige en daarvoor geldende wettekst van artikel 31 E-wet te voldoen aan enkelvoudige storingsreserve..
- De kans dat een vakwerkmast of een wintrack-mast omvalt is heel klein. Op basis van de ontwerp norm is de faalkans eens per 500-750 jaar per verbinding. Op het totaal aantal km bovengrondse hoogspanningslijn in Nederland is de faalfrequentie van verbindingen door extreem weer en impact van buitenaf ongeveer eens in de 5 tot 10 jaar. Wat de impact van een falende verbinding is verschilt per situatie.
- Aanbevolen wordt dubbel-circuit masten niet onder de enkelvoudige storingsreserve te laten vallen gezien de zeer kleine kans op en geringe impact van falen.
- Aanbevolen wordt masten met twee circuits met een spanning van 220kV en hoger (EHS) en twee circuits met een spanning van 110/150kV (HS) ook uit te zonderen van de enkelvoudige storingsreserve. De redundantie in de twee verschillende netvlakken is in het algemeen niet zeer sterk gekoppeld waardoor de effecten vergelijkbaar zijn met het falen van een gewone dubbel-circuit mast. Indien echter de gecombineerde EHS-HS circuits deel uitmaken van een netuitloper, kunnen de effecten groter zijn en moet een projectspecifieke analyse uitgevoerd worden.
- Masten met drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger hebben weliswaar dezelfde kleine kans op falen als de normale dubbel-circuit masten op dit spanningsniveau maar de effecten kunnen bij hoge vermogenstransporten aanzienlijk groter zijn. Hier is binnen de individuele Rijkscoördinatieregeling (RCR)-projecten onderzoek naar gedaan (onderzoek naar het falen van individuele masten) en het risico is acceptabel bevonden. Het onderzoek van RCR-projecten heeft zich echter niet gericht op de mogelijke effecten van het mastfalen op de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening in zijn geheel, o.a. bij hogere toekomstige belastingen van het net.
- Gezien de mogelijke impact op de betrouwbaarheid van het elektriciteitsvoorzieningsysteem en het toenemende risico ten gevolge van een toenemend gebruik van gecombineerde verbindingen met drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger, is het wenselijk hier vervolgonderzoek naar te laten uitvoeren. TenneT heeft hiertoe extern een onderzoeksopdracht uitgezet. Onderzocht wordt of er vanuit de betrouwbaarheid van het elektriciteitsvoorzieningsysteem een wettelijke begrenzing of wettelijk vastgelegde voorwaarden nodig zijn ten aanzien van het combineren van drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger op een enkele mast.

- Het onderzoek naar de gecombineerde lijnen met drie of meer circuits heeft ten doel de risico's en mogelijke mitigatie in kaart te brengen als functie van een toenemend aantal verbindingen waarin drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger gecombineerd worden.

Aanbevelingen

A. Masten uit te zonderen van de enkelvoudige storingsreserve in de E-wet.
B. Indien een verbinding met drie of meer circuits een netuitloper is, moet in het betreffende project beoordeeld worden wat mogelijke effecten van eventueel mastfalen zijn en hoe onacceptabele effecten voorkomen of gemitigeerd kunnen worden.
C. De uitkomsten van het onderzoek naar de impact van het falen van een verbinding met drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger te gebruiken om:
    - De voor de systeemstabiliteit noodzakelijke voorwaarden voor het gebruik van gecombineerde verbindingen met drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger wettelijk vast te leggen
    - Eventueel noodzakelijke mitigerende maatregelen voor de lopende RCR-projecten te bepalen

10 minuten/100 MW onderbreking bij 110/150 kV netten

- Bij hoogspanningsnetten met een spanningsniveau van 110 kV en 150 kV is bij een enkelvoudige storing een onderbreking van maximaal 10 minuten met een maximale belasting van 100 MW toegestaan. Deze uitzondering staat wel in de Netcode (artikel 4.1.4.6) maar niet in artikel 31 van de E-wet.
- Deze uitzondering wordt vooral gebruikt voor omschakelen HS-MS transformatoren bij een storing in een van de transformatoren of HS-aansluitveld en in netuitlopers waar geen schakelinstallatie aan het einde van de uitloper is aangebracht. In de praktijk is de omschakeltijd van de HS/MS-transformatoren meestal korter dan 10 minuten, typisch 2 minuten, gemiddeld 4 minuten.
- Op basis van de Nestor storingsregistratie in de periode 2008 – 2012 treedt deze storing in heel Nederland ongeveer 14 keer per jaar op[8].
- Theoretisch kan de hersteltijd worden verkort door een automatische omschakeling (pingpong). Helaas zijn automatische omschakelingen zelf nogal storingsgevoelig. Mogelijke winst in gemiddelde hersteltijd bij onderbrekingen wordt daarom al snel teniet gedaan door de extra benodigde omschakeltijd ten gevolge van een enkele storing in het gecompliceerde "pingpong" systeem.
- Op basis van de huidige typische hersteltijden zou de uitzondering voor 10 minuten onderbreking teruggebracht kunnen worden naar bijvoorbeeld 5 minuten onderbreking. Aanpassing van de huidige 10 minuten grens naar een lagere waarde zal echter geen effect hebben op de leveringszekerheid. Aan verkorting van de tijd schuilt wel een juridisch risico dat er claims komen indien de 5 minuten sporadisch worden overschreden met één of enkele minuten.
- Op basis van de gepresenteerde maatschappelijke kosten - baten afweging is parallelle bedrijfsvoering van HS/MS-transformatoren ook bij nieuwe aanleg niet verdedigbaar. De winst die parallelle bedrijfsvoering oplevert in termen van verkorting van het aantal jaarlijkse storingsminuten is zeer gering.
- De overweging om bij nieuwe 20kV aanleg parallelle bedrijfsvoering te hanteren is momenteel nog een op nettopologie en daarbij behorende risico's gebaseerde afweging van de netbeheerder.

---

[8] De Nestor gegevens hebben betrekking op de transformatoren tussen 110/150 kV-netten en MS-netten (10, 6, 3, 20, 25 kV)

Aanbeveling

Aanbevolen wordt om de uitzondering op de enkelvoudige storingsreserve (maximaal 10 minuten en maximaal 100MW onderbreking) voor 110/150 kV netten die nu in de praktijk wordt gehanteerd en in de Netcode (artikel 4.1.4.6) is vastgelegd, te handhaven. De E-wet zou deze uitzondering mogelijk moeten maken.

Railsystemen en bijbehorende koppelvelden en railbeveiliging

- Het huidige artikel 31 E-wet maakt geen uitzondering op de enkelvoudige storingsreserve tijdens onderhoud van een railsysteem. De Netcode doet dit in de (bedrijfsvoering)artikelen 5.5.2.1 en 5.5.2.2 wel.
- Het tijdens onderhoud niet beschikken over een enkelvoudige storingsreserve bij railsystemen in netten met een spanning van 220kV en hoger, kan leiden tot een omvangrijke onderbreking van de voorziening (bijv. een groot deel van een provincie en in bijzondere gevallen tot nationaal niveau of zelfs grensoverschrijdend). Onderbreking treft in dit geval zowel grootschalige verbruikers als grootschalige productie aangesloten op het railsysteem, als verbruikers (belasting) in de onderliggende netten. Ook is de kans groot dat de productie die is aangesloten in het onderliggende deelnet uitvalt. Herstel kan binnen enkele uren plaatsvinden (indicatief 2 uur), maar dit geldt niet in geval van GIS-installaties. De technologie van de compacte Gas Insulated Switchgear heeft als nadeel dat het herstel één tot meer dagen kan duren.
- Voor railsystemen in netten met een spanning van 110kV en 150kV geldt in beginsel hetzelfde als voor railsystemen in netten met een spanning van 220kV en hoger, zij het dat het effect kleiner is en niet tot onderbreking op provinciaal niveau of meer zal reiken.
- Railsystemen op 110/150kV stations die direct (via een transformator) gekoppeld zijn met een 220/380kV station, kunnen bij uitval van de laatste rail een onderbreking van vergelijkbare omvang veroorzaken als veroorzaakt door het verlies van het laatste railsysteem op het gekoppelde 220/380kV station. Deze, via transformatoren, direct aan het 220/380kV net gekoppelde 110/150kV railsystemen verdelen het grote vermogen afkomstig van het 220/380kV net over de verbindingen van het lokale 110/150kV deelnet.
- De kans op verlies van een railsysteem terwijl een ander railsysteem uit bedrijf is vanwege onderhoud is echter zeer klein (eens per 500-600 jaar), getuige ook het verleden met deze stations**.** Op basis van de huidige populatie stations in Nederland, bedraagt de faalfrequentie tijdens onderhoud voor alle 110/150kV railsystemen tezamen ongeveer eens per acht jaar en voor de 220/380kV railsystemen ongeveer eens per 14 jaar.
- De effecten van uitval van de laatste rail kunnen worden voorkomen of worden verminderd met meervoudige railsystemen (of opdeling van rails in meerdere stukken), een uitbreiding van de netstructuur (afhankelijkheid station verlagen), of door acceptatie van een onderbreking en preventieve maatregelen tot bekorting van het herstel**.**
- Stations in Nederland hebben veelvuldig een dubbel railsysteem configuratie. In tegenstelling tot de railsystemen in netten met een spanning van 220kV en hoger worden railsystemen in 110/150kV netten beveiligingstechnisch vaak als één railsysteem behandeld. Het aanbrengen van een railbeveiliging zorgt er hier voor dat de aanwezige railsystemen als gescheiden eenheden gezien kunnen worden waardoor zij met enkelvoudige storingsreserve functioneren. Railbeveiliging zorgt er namelijk voor dat alleen het gestoorde (deel van het) railsysteem uitgeschakeld wordt waardoor de overige delen blijven functioneren.
- Koppelvelden verbinden twee railsystemen met elkaar gedurende volledig in bedrijf zijnd net. In het zeldzame geval dat een zodanige storing in het koppelveld optreedt dat een kortsluiting ontstaat, kan

het koppelveld deze kortsluiting zelf niet afschakelen en worden de railsystemen die het koppelveld verbindt beide afgeschakeld. Deze common-cause fout kan alleen optreden gedurende volledig in bedrijf zijnd net. De kans op deze common cause fout is kleiner dan de kans op een railstoring tijdens onderhoud de effecten zijn echter hetzelfde zijn als bij een railstoring gedurende onderhoud aan de rail. Voor het koppelveld kunnen tijdens volledig in bedrijf zijnd net, voor wat betreft de enkelvoudige storingsreserve, dezelfde voorwaarden gesteld worden als aan railsystemen tijdens onderhoud.

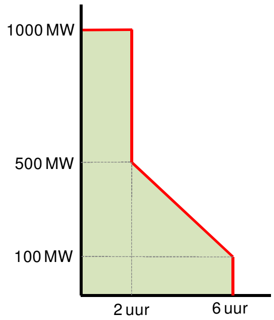
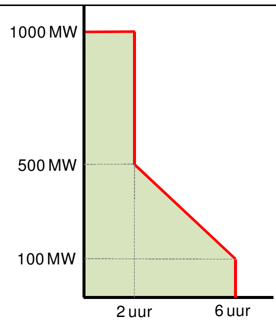
- Een railbeveiliging kan in theorie door een onbedoeld foutcommando meer dan een railsysteem afschakelen. De digitale logica van de railbeveiliging, de self-check routines en de vele voorwaarden waaraan voldaan moet zijn voordat de railbeveiliging een commando voor uitschakeling geeft, maakt het praktisch onmogelijk dat een gestoorde railbeveiliging leidt tot uitschakeling van één, laat staan meerdere railsystemen. De betrouwbaarheid wordt hier niet verhoogd door een tweede railbeveiliging in serie op te nemen als gevolg van de complexiteit die hiermee ontstaat. Gezien de verwaarloosbare kans en de grote toegevoegde waarde van railbeveiliging bij juist functioneren is een uitzondering op de enkelvoudige storingsreserve voor railbeveiliging gewenst.
- Een aparte afweging voor "bestaande" en "nieuwe" stations moet nadrukkelijk gemaakt worden. De keuze voor een uitgebreider of meervoudig railsysteem een principiële keuze is die bij de aanleg moet worden gemaakt en zich nadien niet gemakkelijk meer laat wijzigen vanwege ruimtebeperkingen in een station, dan wel vanwege voor de leveringszekerheid risicovolle aanpassingen**.**
- De risico gebaseerde afweging van de voorwaarden voor het uitzonderen van railsystemen op de algemene regel van enkelvoudige storingsreserve kent twee hoofdingrediënten:
    1. De transportzekerheid mag niet in gevaar komen want anders kunnen grote cascade onderbrekingen ontstaan.
    2. Indien de transportzekerheid is geborgd wordt op basis van een MKBA de doelmatigheid van het investeren in enkelvoudige storingsreserve afgewogen.

De hierna genoemde grenswaarden zijn gebaseerd op een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Hierin zit de kans van optreden van een storing. Doordat het aantal opgetreden railstoringen zeer laag is (en de beschouwde periode niet erg lang), moet rekening worden gehouden worden met een spreiding in de genoemde grenswaarden. De geadviseerde grenswaarden zijn daardoor niet exact op het MKBA "break-even" punt vastgesteld maar hierin zijn ook kwalitatieve maatschappelijke en technologische aspecten meegenomen.

Aanbevelingen

A. Railsystemen, bijbehorende koppelvelden en direct aan het railsysteem gerelateerde grensoverschrijdende beveiligingen in de Elektriciteitswet onder voorwaarden uit te zonderen van de eis tot enkelvoudige storingsreserve.
B. In lagere regelgeving de voorwaarden vermeld in tabel 1 vast te leggen als de voorwaarden voor uitzondering van het railsysteem, koppelvelden en bijbehorende beveiligingen op de eis tot enkelvoudige storingsreserve. Aan alle voorwaarden moet voldaan worden.
C. In de Elektriciteitswet een overgangsregeling voor bestaande situaties op te nemen.
D. De overgangstermijn voor bestaande situaties in lagere wet- en regelgeving verder uit te werken.

Tabel 1: geadviseerde voorwaarden voor uitzondering railsystemen op enkelvoudige storingsreserve

Voorwaarden enkelvoudige storingsreserve bij nieuwe railsystemen, koppelvelden en beveiliging				
Netvlak		**Doortransport**	**Productie uitval**	**Belasting uitval**[9]
110kV 150kV	Volledig in bedrijf	Niet van toepassing	Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet tot een onderbreking groter dan 1.500 MW productie kan leiden.	• Uitgezonderd van de eis te functioneren met enkelvoudige storingsreserve indien de belasting in het onderliggende net kleiner is dan 100MW. • Bij een enkelvoudige storing aan het railsysteem is een onderbreking van belasting in het onderliggende net toegestaan mits de onderbroken aansluitingen kunnen worden omgeschakeld naar het nog ongestoorde railsysteem.
	Onderhoud	Niet van toepassing	Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet tot een onderbreking groter dan 1.500 MW productie kan leiden.	Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet kan leiden tot een onderbreking groter dan weergegeven maximale vermogen-tijd curve. 
220kV en hoger	Volledig in bedrijf	Enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem	Enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem[10]	Enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem
	Onderhoud	Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet kan leiden tot cascade onderbreking van belasting of productie op andere lokaties in de netten met een spanning van 220kV en hoger.	Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet tot een onderbreking groter dan 1.500 MW productie kan leiden.	Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet kan leiden tot een onderbreking groter dan weergegeven maximale vermogen-tijd curve. 

Koppelvelden
Direct met de railsystemen verbonden koppelvelden zijn uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve gedurende normaal bedrijf en onderhoud op voorwaarde dat bij een enkelvoudige storing in het koppelveld voldaan wordt aan de eisen die gesteld worden aan de bijbehorende railsystemen gedurende onderhoud situaties.

Railbeveiliging
Railbeveiliging is uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve.

---

9 Bij belasting uitval wordt gekeken naar de belasting in het onderliggende publieke net. De belasting van enkelvoudig aangeslotenen afnemers in netten met een spanning van 110kV en hoger, worden in deze beschouwing niet meegenomen daar de afnemer zelf kiest af te zien van enkelvoudige storingsreserve.

10 Indien de aangesloten producent voor een enkelvoudige aansluiting heeft gekozen kan deze aansluiting bij een railstoring natuurlijk onderbroken raken.

Aansluitingen

- Omdat aansluitingen op grond van jurisprudentie beschouwd worden als onderdeel van het net, is het noodzakelijk om ook voor aansluitingen vast te stellen of ze (al dan niet onverkort) onderworpen moeten zijn aan de wettelijke regels voor enkelvoudige storingsreserve.
- Gedeeld standpunt is dat de individuele verbruikers, producenten en ontheffinghouders de vrijheid moeten hebben om te bepalen welke redundantie hun aansluiting op netten met een spanning van 110kV en hoger nodig heeft. Hiermee kan de individuele aangeslotene zijn eigen bedrijfseconomische afweging maken of investeren in de enkelvoudige storingsreserve van zijn aansluiting doelmatig is.

Aanbevelingen

A. Gebruikers, producenten en ontheffingshouders dienen zelf te bepalen welke redundantie hun aansluiting op het (E)HS net nodig heeft. De E-wet moet deze keuzevrijheid mogelijk maken.
B. Voor aansluitingen van netbeheerders op (E) HS netten gelden dezelfde kwaliteitscriteria en uitzonderingen op enkelvoudige storingsreserve als voor het bovenliggende net waarop wordt aangesloten.

Risico lange hersteltijden bij reparatie, vervanging en modificatie

- Uitlopers in het 110/150kV-net welke geheel of gedeeltelijk zijn aangesloten met kabel dragen inherent het risico op een langdurige onderbreking. Dit in geval van een meervoudige niet beschikbaarheid van circuits (storing gedurende reparatie nevencircuit) en als gevolg van de lange reparatieduur.
- Alternatieven voor kabels zijn er eigenlijk niet, anders dan de uitbreiding met meer circuits. De hersteltijd kan tot een minimum worden teruggebracht door een goede voorbereiding. Ondanks goede voorbereiding is 48 uur een gebruikelijke hersteltijd voor moderne kabeltechnieken.
- GIS-installaties dragen eveneens een risico op een langdurige onderbreking omwille van dezelfde reden. In een vermaasd net ligt het risico bij het niet beschikbaar raken van beide railsystemen. Bij GIS-installaties in een uitloper ligt de kans van optreden nog iets hoger omdat ook het verlies van de twee voedende circuits of afgaande transformatorvelden tot een langdurige storing kan leiden.
- Bij nieuwe GIS-installaties kan de langdurige onderbreking worden voorkomen door er conceptueel rekening mee te houden en te investeren in een uitgebreidere installatie (opdeling installaties, toepassen brandwerendheid). Bij bestaande installatie moet de oplossing worden gevonden in voorbereide voorzieningen om de installatie te overbruggen. Voor nieuwe GIS-installatie betekent dit een meerkosten van circa 15%. De consequenties voor het bestaande net zijn, met toepassing van een overgangsmaatregel, ook beperkt in omvang. De overgangmaatregel is van toepassing op UGD-kabels. Voldoen aan de nieuwe eis betekent een aanpassing van zes netuitlopers een totaal kosten van circa 45 miljoen Euro.
- Bij het niet beschikbaar zijn van een HS/MS-transformator en een storing aan de neventransformator of in de keten hiervan (HS- of MS-veld, HS- of MS- aansluitkabel) kan een langdurige storing optreden. De kans hierop is klein als gevolg van de zeer beperkte tijdsduur dat één van de transformatoren niet beschikbaar is voor revisie of uitwisseling en de klein kans dat op hetzelfde moment een storing optreedt.
- In stations kan permanent een reserve transformator worden opgesteld, zodat de aanvoertijd van een nieuwe transformator voorkomen wordt en de hersteltijd bij uit wisseling kan worden bekort. Alternatief

is extra transformatoren met permanente aansluiting, een situatie die voor grote stations niet ongebruikelijk is.

- Bij de afweging is rekening gehouden met de geringe kans van optreden en de hoge kosten voor het versterken van alle uitlopers. Tevens is rekening gehouden met de eerdere keuze van de Minister om niet generiek over te gaan tot de versterking van alle uitlopers, maar een risicogedreven benadering te hanteren. Tevens is gelet op de politieke en maatschappelijke onrust die ontstaat bij een langdurige onderbreking zoals in het verleden in de Bommelerwaard en in Haaksbergen.
- Bestaande, uitfaserende kabeltechnieken gebaseerd op oliedruk hebben een uitzondering nodig op de eis van 48 uur. Voor deze kabels is de reparatietijd en dus hersteltijd van een onderbreking maximaal 4 dagen. De beperkte toename in maximale onderbrekingsduur in combinatie met de zeer kleine kans en het uitfaserende karakter van deze kabels geeft een begrensd risico dat acceptabel wordt geacht.

Aanbevelingen

Voor netuitlopers, GIS-systemen en HS/MS-transformatoren in nieuwe situaties:

A. Tijdens volledig in bedrijf zijnd 110/150kV net een onderbreking van maximaal 100MW gedurende maximaal 10 minuten toegestaan conform algemene regel op 110/150kV.
B. Tijdens onderhoud in 110/150kV netten een maximale onderbreking toegestaan van 100MW, gedurende maximaal 6 uur conform huidige E-wet.
C. Bij reparatie, vervanging en modificatie een maximale onderbreking van 100 MW, gedurende maximaal 48 uur.

48 uur is gebaseerd op de reparatietijd voor kunststof kabeltechnologie en vervangingstijd voor transformatoren. GIS zou in 48 uur overbrugd moeten kunnen worden door het "kappen" van kabels en doorverbinden naar de HS/MS-transformator.

Voor bestaande situaties:

A. Bij reparatie, vervanging en modificatie van kabels in netuitlopers een maximale onderbreking van 100MW, gedurende maximaal 4 dagen (*op basis reparatietijd oliedrukkabels*).
B. Bij reparatie en modificatie van bestaande GIS-systemen op 110/150kV een maximale onderbreking van 4 dagen (op basis overbruggingstijd bij oliekabels)
C. Een overgangstermijn voor oplossen van de langere hersteltijd van netuitlopers alleen gevoed door UGD kabel.

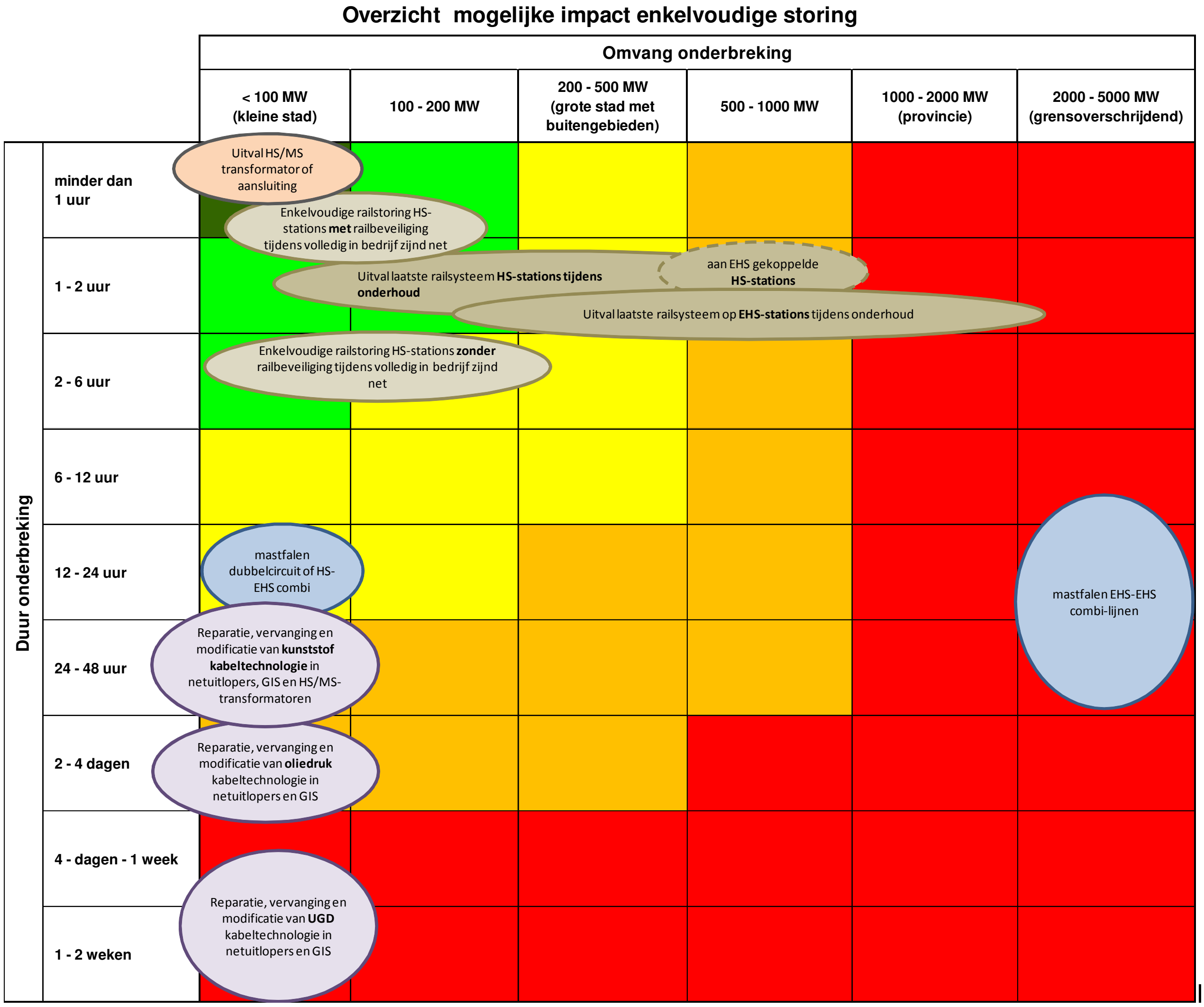
Opgemerkt wordt dat de kans dat er daadwerkelijk een langdurige onderbreking plaatsvindt bij een reparatie, vervanging of modificatie zeer klein is. In het ongelukkige geval dat daadwerkelijk een onderbreking plaatsvindt met een lange hersteldduur, wordt reactief via inzet van noodstroom aggregaten een deel van de belasting tussentijds van spanning voorzien worden. Zoals door de minister gerapporteerd aan de Tweede Kamer[11], staan (op basis van het E-Bridge rapport) de benodigde investeringen voor het proactief grootschalig inzetten van noodstroom aggregaten niet in verhouding tot het risico. Wel denkt de sector dat er geïnnoveerd kan worden in concepten en faciliteiten die het sneller en grootschaliger aansluiten van noodstroom aggregaten mogelijk maken.

[11] Tweede Kamer der Staten-Generaal, Vergaderjaar 2006-2007, Kamerstuk 29023 nr. 39

3 Integraal risico overzicht

In dit document worden een aantal risico's geëvalueerd die samenhangen met de uitzonderingen op de enkelvoudige storingsreserve. Dit zijn uitzonderingen zoals die nu in de praktijk gangbaar en onder andere via de Netcode toegestaan zijn maar vanuit de E-wet artikel 31 niet meer zijn toegestaan.

In dit hoofdstuk worden al deze afzonderlijke risico's in één figuur bij elkaar gebracht met als doel inzichtelijk te maken of de in dit rapport gemaakte aanbevelingen een vergelijkbare risicoacceptatie hebben of dat er op bepaalde onderwerpen veel meer of veel minder risico geaccepteerd wordt.

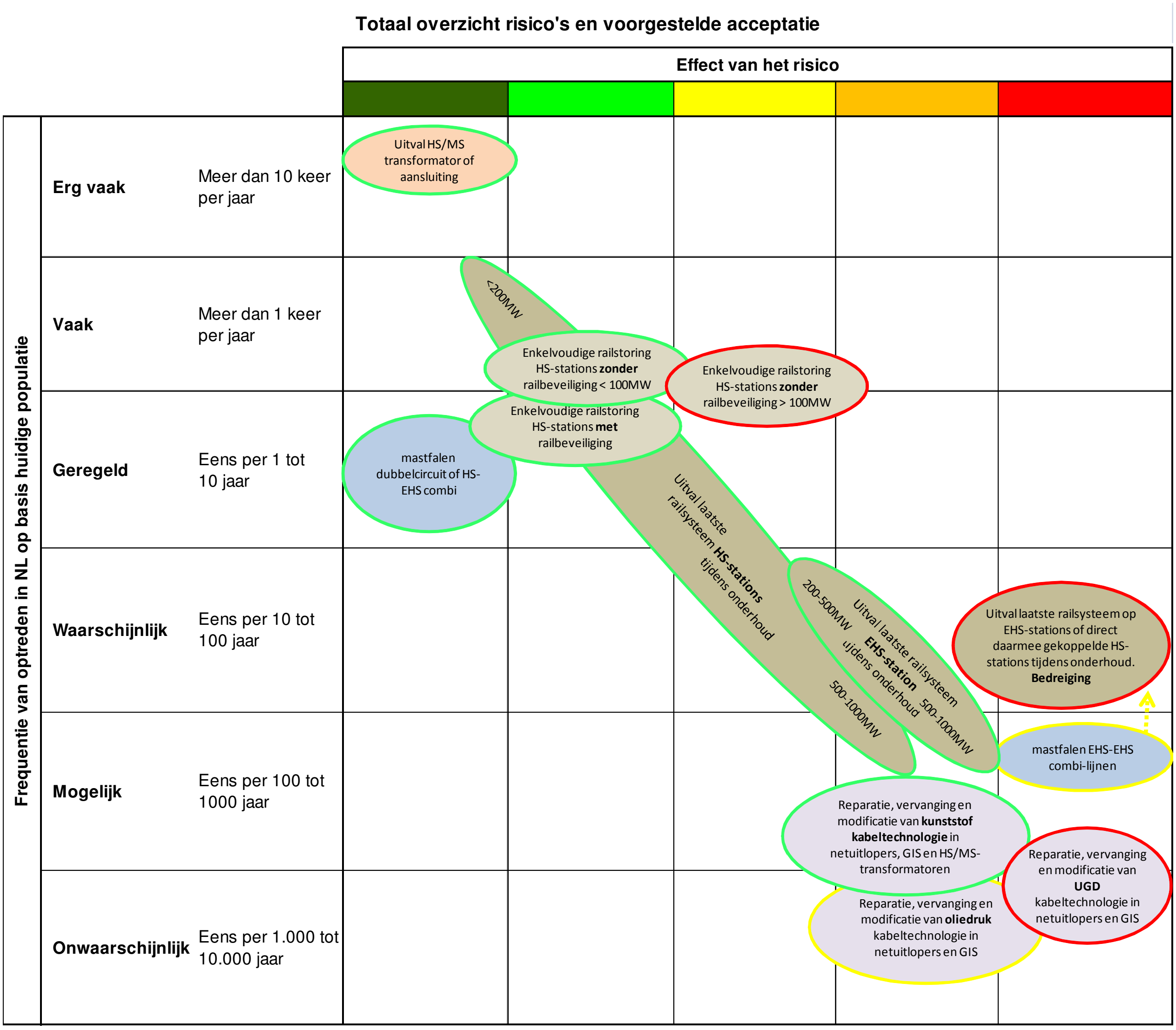


Figuur 2: Groepering van mogelijke impact van enkelvoudige storing

n Figuur 2 wordt de mogelijke impact van een enkelvoudige storing in omvang en hersteltijd weergegeven. Met de verschillende kleuren van de ovalen worden de verschillende, in dit rapport behandelde uitzonderingen weergegeven:

- Blauw -> hoofdstuk 6: Hoogspanningsmasten en enkelvoudige storingsreserve
- Roze -> hoofdstuk 7: Kortstondige onderbrekingen 110 en 150kV (10 min regel)
- Taupe licht -> hoofdstuk 8: Railsystemen tijdens volledig in bedrijfzijnd net
- Taupe donker -> hoofdstuk 8: Railsystemen tijdens onderhoud
- Paars -> hoofdstuk 9: Risico lange hersteltijden bij reparatie, vervanging en modificatie

De kleuren van de matrix zelf variëren van groen naar rood en geven daarmee een groepering op ernst van de impact. In de indeling van de assen en kleuren heeft de projectgroep op een dusdanige wijze gekozen dat de ernst van de impact overzichtelijk verdeeld wordt.



Figuur 3: Totaaloverzicht risico's en risico-acceptatie

In Figuur 3 zijn de effecten van de uitzonderingen op de enkelvoudige storingsreserve uit het Figuur 2 op één as gezet. Op de andere as de frequentie dat een gebeurtenis in Nederland voorkomt op basis van het huidige net. In de matrix zijn de uit Figuur 2 bekende ovalen ingetekend. De weergegeven frequenties worden in de verschillende hoofdstukken afgeleid. Hierbij is er één uitzondering: de faalfrequentie van de 4-circuit EHS-mast.

De zogenaamde EHS-EHS combimasten van het type Wintrack (Wintrack-masten met vier circuit met een spanning van 220kV en hoger) moeten nog gebouwd gaan worden waardoor er geen populatie is om de faalfrequentie op te baseren. Op basis van de ontwerpnorm en het door Kema uitgevoerde onderzoek zou de faalkans tussen eens per 500 jaar tot eens per 750 jaar per verbinding komen te liggen. In de huidige projecten zijn EHS-EHS Wintrack-masten voorzien in de RCR-projecten ZuidWest 380kV en NoordWest 380kV. In de matrix is op basis hiervan een faalfrequentie tussen 200-400 jaar ingetekend. Deze frequentie is een theoretische frequentie die afhangt van de lengte die uitgevoerd wordt als EHS-EHS combi verbinding. Naarmate er meer lengte van deze EHS-EHS combi-verbinding gebouwd wordt gaat de ovaal in Figuur 3 verder omhoog omdat de faalfrequentie omhoog gaat. Hierbij wordt wel opgemerkt dat het

weergegeven risico geen mitigatie kent via de netstructuur en er daadwerkelijk 2.000 – 5.000 MW onderbroken raakt. Indien het volledig uitvallen van de EHS-EHS combi-verbinding opgevangen kan worden in de parallelle netstructuur zal de impact veel kleiner zijn en verschuift de ovaal in Figuur 3 naar links.

De in dit document beschreven risico's zijn met ovalen in de matrix weergeven. De kleur van de rand van de ovaal geeft aan of het risico middels de in dit rapport voorgestelde aanbevelingen geaccepteerd wordt of niet. Een groene rand betekent dat voorgesteld wordt het risico te accepteren. Een rode rand betekent dat voorgesteld wordt het risico niet te accepteren en dat de bestaande situatie op termijn aangepast moet worden. De gele rand om de ovaal van het falen van EHS-EHS-masten geeft aan dat hier nog verder onderzoek op loopt, de gele rand om de ovaal van de oliedruk kabels geeft aan dat een overgangstermijn in de acceptatie wordt geadviseerd.

Bij acceptatie van het risico wordt er een uitzondering op de algemene regel van enkelvoudige storingsreserve aanbevolen.

3.1 Conclusie

- De in de aanbevelingen voorgestelde acceptatie van risico's kent geen bijzonder afwijkende behandeling van het risico op deelonderwerpen. Deelonderwerpen kennen daardoor niet een volledig afwijkende risico acceptatie, de nog verder te onderzoeken EHS-EHS combimasten daargelaten.
- Indien het uitzonderen van de EHS-EHS combi-masten bij enkelvoudige storingsreserve kan leiden tot een bedreiging van de transportzekerheid met grootschalige onderbrekingen (rood effect) geeft dit een duidelijk hoger risico dan bij de andere onderwerpen. Of deze hogere risico acceptatie is toegestaan of niet, is afhankelijk van de waarde van de landschappelijke inpassing. Een zuiver beleidsmatige keuze dus waar twee maatschappelijk belangrijke zaken tegen elkaar moeten worden gewogen.

4 Overzicht van de redundantie in de openbare elektriciteitsnetten

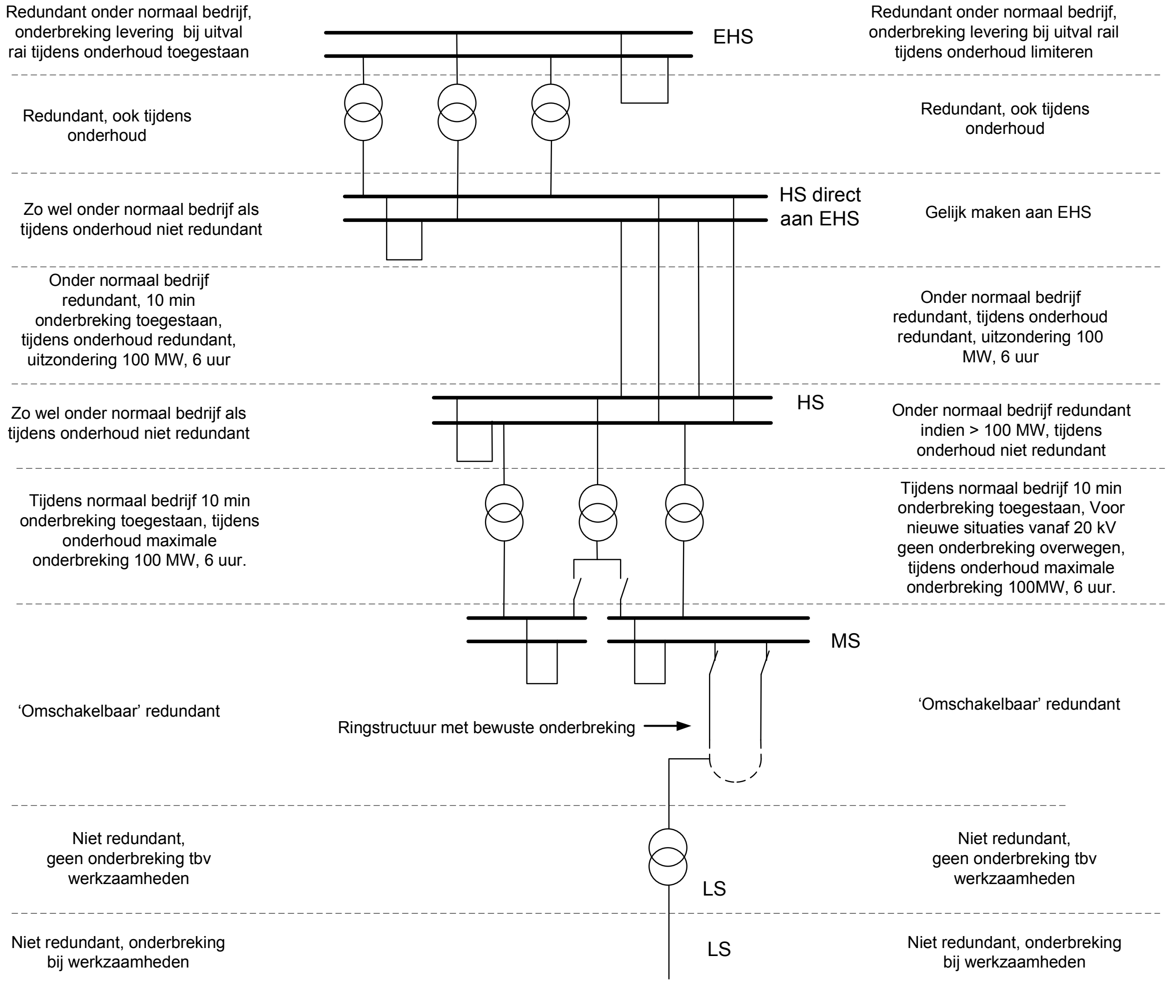
De redundantie slaat op enkelvoudige storingen en niet op “common cause”[12] of cascade-storingen. Redundantie kan onderscheiden worden in de volgende categorieën:

- Volledig redundant, ook tijdens onderhoud (i.e. geen energie-onderbreking bij een storing)
- Volledig redundant, maar niet tijdens onderhoud (i.e. geen energie-onderbreking bij een storing tijdens normaal bedrijf)
- Omschakelbaar redundant, automatisch of op afstand bediend (i.e. zeer korte energie-onderbreking bij een storing)
- Omschakelbaar redundant, handbediend (i.e. energie-onderbreking van één à twee uur)
- Niet redundant, maar over te nemen met noodstroomaggregaat (i.e. energie-onderbreking van een aantal uren)
- Niet redundant (i.e. wachten op reparatie)

Hieronder wordt de opbouw van de redundantie van het gehele Nederlandse elektriciteitsnet weergegeven, vanaf 230 Volt huisaansluiting t/m de 220/380kV netten. Dit overzicht geeft per spanningsniveau weer in hoeverre er voor redundantie is gezorgd. Zoals reeds eerder in deze rapportage aangegeven heeft de E-wet uitsluitend kwaliteitscriteria opgelegd voor netten met een spanningsniveau van 110kV en hoger. Gelaagdheid van de hele structuur geeft echter overzicht en nuttige informatie over de keuzes die in het verleden gemaakt zijn.

Huidige praktijk in lijn met .code **Mogelijke richting**

[12] Met "common-cause" wordt bedoeld een tweetal storingen die onafhankelijk van elkaar gelijktijdig plaats vinden.


Redundant onder normaal bedrijf, onderbreking levering bij uitval rai tijdens onderhoud toegestaan
EHS
Redundant onder normaal bedrijf, onderbreking levering bij uitval rail tijdens onderhoud limiteren
Redundant, ook tijdens onderhoud
Redundant, ook tijdens onderhoud
Zo wel onder normaal bedrijf als tijdens onderhoud niet redundant
HS direct aan EHS
Gelijk maken aan EHS
Onder normaal bedrijf redundant, 10 min onderbreking toegestaan, tijdens onderhoud redundant, uitzondering 100 MW, 6 uur
Onder normaal bedrijf redundant, tijdens onderhoud redundant, uitzondering 100 MW, 6 uur
Zo wel onder normaal bedrijf als tijdens onderhoud niet redundant
HS
Onder normaal bedrijf redundant indien > 100 MW, tijdens onderhoud niet redundant
Tijdens normaal bedrijf 10 min onderbreking toegestaan, tijdens onderhoud maximale onderbreking 100 MW, 6 uur.
Tijdens normaal bedrijf 10 min onderbreking toegestaan, Voor nieuwe situaties vanaf 20 kV geen onderbreking overwegen, tijdens onderhoud maximale onderbreking 100MW, 6 uur.
MS
'Omschakelbaar' redundant
Ringstructuur met bewuste onderbreking
'Omschakelbaar' redundant
Niet redundant, geen onderbreking tbv werkzaamheden
LS
Niet redundant, geen onderbreking tbv werkzaamheden
Niet redundant, onderbreking bij werkzaamheden
LS
Niet redundant, onderbreking bij werkzaamheden

5 Maatschappelijke acceptatie stroomonderbrekingen

5.1 Samenvatting

De grootste incidenten kennen een gecompliceerde faaloorzaak.

De wijze waarop de maatschappij op stroomstoringen reageert is grillig te noemen. Toch zijn er bepaalde trends waarneembaar:

- De maatschappij is veel kritischer bij herhalingsstoringen, ondanks het feit dat er vaak geen gemeenschappelijk faaloorzaak te benoemen valt. Dit geldt voor grote incidenten, maar ook voor kleinschalige onderbrekingen.
- Storingen met een duidelijk externe oorzaak worden makkelijker geaccepteerd.
- Storingen met een grotere omvang[13] en een lange duur (meer dan acht uur) leiden tot maatschappelijke onrust met bijbehorende extreme kosten.
- Storingen in grote agglomeraties, zoals de Randstad, tellen relatief zwaarder dan storingen met eenzelfde omvang daarbuiten.

5.2 Algemeen

Vijf aspecten van elektriciteitsonderbrekingen bepalen de ernst van het incident:

- omvang van het getroffen gebied (aantal klanten),
- soort regio (grootstedelijk, industrieel, landelijk),
- duur van de storing,
- omstandigheden (spitsuur, weekend, hartje winter)
- eventuele herhaling binnen afzienbare tijd.

Al deze aspecten vallen weg bij het hanteren van statistische waarden, zoals de jaarlijkse uitvalduur.

Vooral het herhaald getroffen worden door een energieonderbreking telt maatschappelijk zwaar. Men ziet dat bij de energieonderbrekingen in Haaksbergen, de Bommelerwaard en Rotterdam. Hierbij zij opgemerkt dat de storingen geen gemeenschappelijke oorzaak hadden. Wel hebben ze een gemeenschappelijk kenmerk: het zijn allemaal “common cause” of cascadestoringen, waarbij meerdere net-elementen tegelijkertijd uitvallen.

Voorts trekt een langdurige storing in een dichtbevolkt gebied, met name tijdens ongunstige omstandigheden, maatschappelijk de aandacht, vooral als deze gepaard gaat met maatschappelijke onrust en mogelijk zelfs sociale instabiliteit. Langdurige storingen op het platteland daarentegen worden beter geaccepteerd al duren ze meer dan een etmaal.

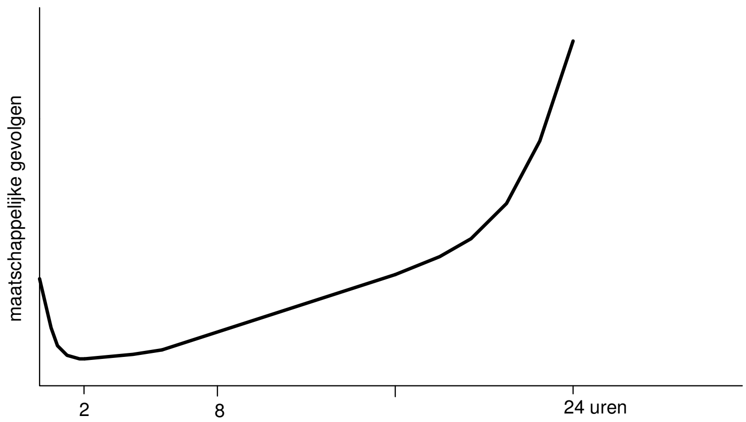
Storingen die een beperkt aantal klanten treffen krijgen niet of nauwelijks aandacht, ook al gaat het om langdurige of herhalingsincidenten.

Energieonderbrekingen, die veroorzaakt worden door externe factoren, zoals extreem weer of aanvaringen (vaar- of vliegverkeer), worden maatschappelijk beter geaccepteerd, althans richting de netbeheerder, dan storingen van technische aard of die men redelijkerwijs had kunnen voorkomen dan wel beperken. Dit geldt ook voor storingen van een grote omvang en/of lange duur. De goodwill verdampt echter snel wanneer zich herhaalstoringen voordoen.

---

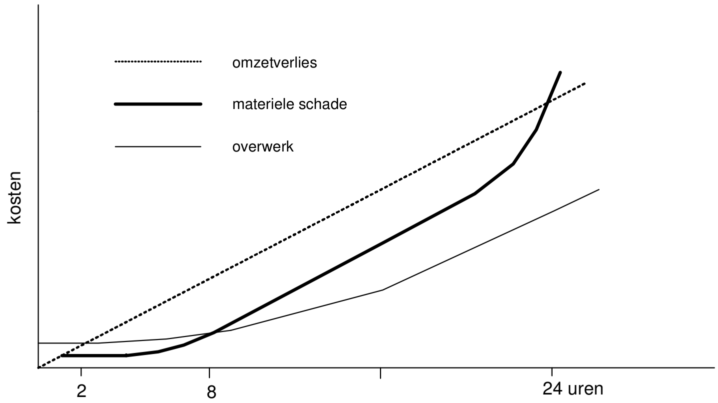
13 Storingen met een kleine of zeer kleine omvang (laagspanning) en een lange duur (kunnen) na enkele uren worden opgevangen met noodstroom-aggregaten, met name bij vitale en kwetsbare instellingen, die niet over noodstroom beschikken.

In het boek “Stroomloos” maakt het Rathenau Instituut[14] onderscheid tussen storingen die korter dan twee uur duren, storingen die langer dan acht uur duren en de categorie daartussen. Heel korte storingen (minuten) komen in het boek niet expliciet aan de orde, omdat het boek zich richt op de grotere incidenten. Desalniettemin wordt gesteld dat het feit dat er een elektriciteitsstoring optreedt op het moment van ontstaan tot de grootste hinder en kosten leidt per tijdseenheid. Pas na veel langere duur van de storing worden de kosten per tijdseenheid en de hinder in de zin van ontwrichting groter. Figuur S1 uit het boek geeft schematisch de maatschappelijke overlast per tijdseenheid aan (niet cumulatief).



Figuur 4: figuur S1 uit “Stroomloos” van het Rathenau Instituut (1994)

Tijdens een korte storing (tot twee uur) loopt de economische schade cumulatief weliswaar op, maar voor de gemiddelde gebruiker slechts in geringe mate vergeleken met de eerste klap ten gevolge van het blote feit van een energie-onderbreking. Bij een langere duur van de storing (tot acht uur) beginnen de gemiddelde kosten per tijdseenheid weer op te lopen, omdat allerlei processen ontwricht beginnen te raken en producten niet meer te redden zijn. Heel lange storingen (langer dan acht uur) gaan gepaard met grote problemen in het vervoer, sociale instellingen, voorziening in primaire levensbehoeftes, etc. Hulpdiensten moeten georganiseerd worden en een calamiteitsorganisatie ingericht. Extreem lange storingen (dagen) kunnen leiden tot maatschappelijke ontwrichting en zullen een veel langere tijdsduur vergen totdat, na het herstel van de elektriciteitslevering, normalisatie is bereikt. Figuur S2 geeft een beeld van de cumulatieve kosten als functie van de storingsduur, verdeeld over een drietal posten.



Figuur 5: figuur S2 uit “Stroomloos” van het Rathenau Instituut (1994)

5.3 Enkele grotere energie-onderbrekingen

Zaltbommel

De grootste onderbreking qua omvang en tijdsduur is de laatste decennia de storing geweest die veroorzaakt werd door een Apache-helikopter, welke de fasegeleiders van twee circuits van de 150 kV-lijn Tiel-Zaltbommel bij de Waalkruising abusievelijk heeft geknipt. Het incident vond met winterweer eind november 2007 plaats. Het herstel heeft 48 uur geduurd en kostte 71 miljoen verbruikersminuten.

[14] Rathenau Instituut; “Stroomloos”; drs. Ineke Steetskamp, dr. Ad van Wijk, 1994, ISBN 90 346 311 76

Pers en bewoners waren positief over de inzet van de netbeheerder, met dien verstande dat de oorspronkelijke verwachting van herstel binnen 24 uur niet kon worden waargemaakt (vanwege het kapot varen van nieuwe geleiders, zodat opnieuw geleiders gespannen moesten worden).

Zaltbommel kwam echter uiteindelijk toch negatief in de pers terecht omdat er vervolgens nog twee onderbrekingen plaatsvonden in 2009 en 2011. Deze storingen troffen ook de Tielerwaard en kosten respectievelijk 13 en 9 miljoen verbruikersminuten. Deze twee storingen behoren resp. behoorden in Nederland tot de top tien van de afgelopen tien jaar.

De relatie van de storingen met transformatorstoringen is nihil. De grote storing had wel een relatie met een zogenaamde uitloper oftewel twee circuits getroffen door een gemeenschappelijke oorzaak. De andere twee storingen hadden geen relatie met een uitloper, maar kenden een cascade-effect.

Haaksbergen
November 2005, trok een zware sneeuwstorm over Nederland. Trein- en autoverkeer waren compleet ontwricht en de netbeheerders in de zuidelijke helft van Nederland hadden allen moeite met het voorkomen van energie-onderbrekingen. De netbeheerders zijn toen door het oog van de naald gekropen, want circuit na circuit viel uit, maar deze konden deels weer in bedrijf genomen worden. Te laag hangende geleiders en draadbreuk troffen alle vier bedrijven. Enexis en DNWB konden energie-onderbrekingen niet voorkomen.

Beide circuits van de 110 kV-lijn naar Haaksbergen werden door sneeuwlast getroffen en successievelijk afgeschakeld. De storing heeft langer dan een etmaal geduurd en kostte 25 miljoen verbruikersminuten. Veel moeite is gedaan om noodstroomaggregaten door het land te vervoeren. Haaksbergen kreeg een negatieve pers, ondanks alle moeite in zowel technische zin als in communicatieve zin van de zijde van de netbeheerder. In de jaren daarna is Haaksbergen nog tweemaal getroffen, door geheel andere oorzaken.

Zeeuws Vlaanderen kende tegelijkertijd een stroomonderbreking, maar dat heeft nauwelijks de pers gehaald en, dan nog, alleen in positieve zin. De storing trof Hulst en omgeving en kostte 13 miljoen verbruikersminuten. Van herhaalstoringen is geen sprake geweest.

De energie-onderbrekingen hadden geen relatie met transformatorstoringen, maar wel met uitlopers.

Rotterdam
Rotterdam wordt nogal eens getroffen door een stroomstoring. Daarbij moet worden beseft dat Rotterdam zich uitstrekt over een groot gebied, waarbij het eerlijker zou zijn onderscheid te maken tussen diverse stadsdelen. Rotterdam heeft de afgelopen 10 jaar driemaal in de top tien gestaan: in 2012 tweemaal met 10 miljoen verbruikersminuten (3 uur) en 5 miljoen (5 uur) en in 2002 met 27.5 miljoen verbruikersminuten. Geen relatie tussen storingsoorzaken, maar wel een negatieve pers, met name vanwege de herhaalstoringen.

De storingen in 2012 werden veroorzaakt door secundaire bedrading en door een complexe distributie-storing.

Goeree – Overflakee
Goeree – Overflakee wordt gevoed middels een 50 kV-lijn, die het Haringvliet kruist. Diverse storingen hebben de afgelopen jaren het eiland getroffen. In 2010 kostte een lijnstoring 6.3 miljoen verbruikersminuten (2 uur). De grootste storing vond plaats in 2006 en kostte 13 miljoen verbruikersminuten. Het betrof een technische storing, net zoals de overige onderbrekingen. De netbeheerder kreeg een negatieve pers, ondanks dat het een dunner bevolkt gebied betreft

Nieuwegein
Tot de top tien van de afgelopen 10 jaar behoren net niet de twee energie-onderbrekingen die Nieuwegein getroffen hebben. Beide in 2012 kort na elkaar en samenhangend met 8 en 4 miljoen verbruikers-minuten gedurende 25 resp. 21 uur. De oorzaak van beide storingen ligt in de distributienetten, die, naar verluid, getroffen werden door een combinatie van een blikseminslag en ferro-resonantie.

Sassenheim
Een kortsluiting in rail A van de 150 kV-GIS werd in 2010 correct afgeschakeld, maar schakeloverspanningen geïnduceerd in de secondaire bedrading veroorzaakten een ten onrechte uitschakeling van een 150/50 kV-transformator, waardoor twee van de drie 150/50 kV-transformatoren spanningsloos werden. De derde is op overbelasting afgeschakeld. De storing koste bijna 17 miljoen verbruikersminuten gedurende 3 uur. Een combinatie dus van “common cause” en cascade-effecten.

6 Hoogspanningsmasten en enkelvoudige storingsreserve

6.1 Samenvatting en advies

Rekeninghoudend met:

- de inpassingproblematiek rondom bovengrondse hoogspanningverbindingen;
- de zeer lage kans op mastfalen door extreme weersomstandigheden en andere externe oorzaken;
- de mogelijkheden tot snel herstel met noodmasten;
- de spreiding in het effect van mastfalen (leidt niet altijd tot een leveringsonderbreking als gevolg van ringstructuren);

is een generieke toepassing van een enkelvoudige storingsreserve op hoogspanningsmasten ongewenst.

Mastfalen bij uitlopers heeft wel directe gevolgen voor de levering, maar ook hier zijn de maatschappelijke kosten - baten voor toepassing van enkelvoudige storingsreserve op de masten in alle gevallen negatief. (Oplossing bestaat in dat geval uit een parallel gelegen ondergrondse kabel). Indien echter een netuitloper bestaat uit gecombineerde 220/380kV-110/150kV circuits, kunnen de effecten groter zijn en moet een projectspecifieke analyse uitgevoerd worden.

Gezien de mogelijke impact op de betrouwbaarheid van het elektriciteitsvoorzieningsysteem en het toenemende risico ten gevolge van een toenemend gebruik van gecombineerde verbindingen met drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger, is het wenselijk hier vervolgonderzoek naar te laten uitvoeren. TenneT heeft hiertoe extern een onderzoeksopdracht uitgezet. Onderzocht wordt of er vanuit de betrouwbaarheid van het elektriciteitsvoorzieningsysteem een wettelijke begrenzing of wettelijk vastgelegde voorwaarden nodig zijn ten aanzien van het combineren van drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger op een enkele mast. Het onderzoek heeft daarnaast ten doel de risico's en mogelijke mitigatie in kaart te brengen als functie van een toenemend aantal verbindingen waarin drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger gecombineerd worden.

6.2 Huidige situatie

Door in de bedrijfsvoering te allen tijde rekening te houden met een enkelvoudige storingreserve is de leveringszekerheid van elektriciteit in hoge mate gegarandeerd. Enkelvoudige storingsreserve wordt toegepast op circuits, transformatoren, generatoren en selectief op railsystemen. Tot nu toe wordt geen enkelvoudige storingsreserve aangehouden op hoogspanningsmasten met meerdere circuits. Dit wordt ook niet expliciet vereist in de E-wet, hoewel de interpretatie dat masten ook onder enkelvoudige storingsreserve vallen op grond van de huidige wettekst verdedigbaar is. Het omvallen van een mast met twee of meer circuits leidt tot een meervoudige storing, waarop niet wordt geanticipeerd en een onderbreking van de levering tot gevolg kan hebben. Verbindingen welke bestaan uit enkelcircuit-masten kennen dit risico niet, maar deze komen in Nederland nauwelijks voor.

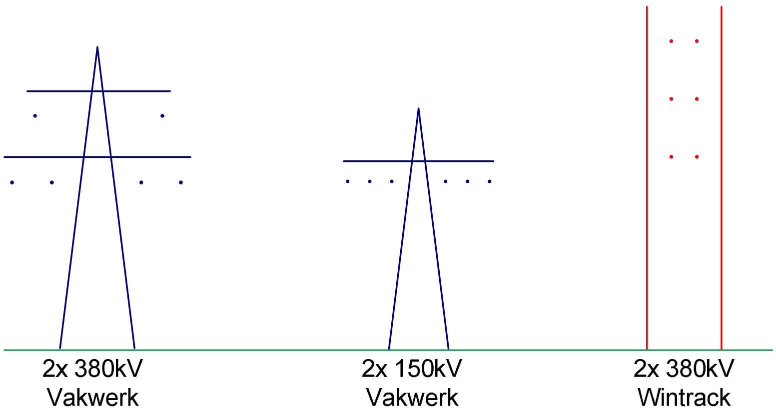
6.2.1 Typen masten

De Nederlandse hoogspanningsverbindingen zijn overwegend uitgevoerd als dubbelcircuit lijnen, met aan weerszijde van de mast een circuit. Verdeeld naar spanningsniveau betreft dit 2x 110 kV, 2x 150 kV, 2x 220 kV of 2x 380 kV. De masten zijn vrijwel uitsluitend uitgevoerd in vakwerkconstructie en een klein deel op HS-niveau met buismasten.

Op het traject Eemshaven-Zwolle is de 380kV-verbinding over grote lengten gecombineerd met de 220kV-verbinding of met 110kV-verbinding. In enkele gevallen zijn in Nederland bovenlijnen gebouwd voor 2x380

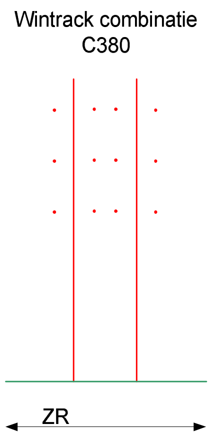
kV, maar aan één zijde of aan beide zijden nog in bedrijf op 150 kV (dit is onder andere het geval op het traject Maasbracht-Greatheide en Oostzaan-Velsen).

Als gevolg van de uitgangspunten voor tracering in SEVIII (bundelen en combineren) worden voor nieuwe situaties vrijwel uitsluitend nog combinatielijnen toegepast. Het betreft dan 380 kV gecombineerd met 380 kV, 220 kV, 150 kV of 110 kV. In verband met de eisen aan het magneetveld zal gebruik worden gemaakt van de Wintrack-lijn, de constructie met twee separate buislichamen en een kleine magneetveldcontour. In Figuur 6 staat de meest gebruikte traditionele vakwerkmast naast de nieuwe Wintrack.



Figuur 6: Dubbelcircuit vakwerkmast naast de dubbelcircuit Wintrack.

Bij de Wintrack bevinden zich tussen de buismasten altijd twee 380kV-circuits. De circuits van het spanningsniveau waarmee wordt gecombineerd bevinden zich aan de buitenzijde, Figuur 7.



Figuur 7: Als gevolg van afspraken in SEVIII wordt in de toekomst nog vrijwel uitsluitend de combi-Wintrack toegepast.

6.2.2 Storingen door mastfalen

De storing op 12 december 2007 waarbij een helikopter een hoogspanningsmast met een dubbelcircuit beschadigde geeft een indruk van mogelijke gevolgen (Figuur 8). Als gevolg van de locale netstructuur en het bemoeilijkte herstel leidde de beschadiging tot een langdurige stroomstoring.

In Tabel 2 is het mastfalen uit Nestor rapportage van de afgelopen jaren samengevat. Het betreft uitsluitend HS-lijnen. In Nederland is nog nooit mastfalen bij EHS-lijnen opgetreden.



Figuur 8:Beschadiging van dubbelcircuit mast door helikopter.

Tabel 2: Onderbrekingen als gevolg van mastfalen bij dubbelcircuit.

Onderbreking	Jaar	Wat	Verbruikers minuten	#aansluiting en	Vermo gen	Hersteltijd
Haaksbergen 150 kV	2005	Grote sneeuwstorm	24.067.300	19.099	36 MW	21 uur
Zaltbommel 150 kV	2007	Helikopter doorsnijdt beide lijnen uitloper	70.749.933	29.635	95 MW	48,6 uur
Vethuizen 110 kV	2010	Omgewaaide masten	1.534.363	39.791	57 MW	53 min.

6.2.3 Bouwwijze en kwaliteit

Waar het gaat om robuustheid en betrouwbaarheid zijn enkelvoudige bovengrondse circuits 'best practice', omdat de voorziening darmee altijd bestand is tegen een enkelvoudige storing. Een gelijktijdige uitval van een dubbelcircuit-lijn kan ernstige gevolgen hebben voor de levering. Bij een uitloper in het net leidt dit vrijwel altijd tot een onderbreking. In vermaasde netten kan een degelijke fout propageren als gevolg van overbelastingen elders in het net, wat cascade-uitschakelingen tot gevolg kan hebben. De kans hierop hangt samen met de belasting- en productiesituatie in het net, op het moment van optreden van de storing.

De gevolgen van mastfalen bij combilijnen nemen toe met het aantal circuits (3,4,5,6). Bij combinatielijnen vormen circuits met gelijke functie (EHS of HS respectievelijk (inter)nationaal transport en regionaal transport) in één mastenlijn een groter risico voor de leveringszekerheid (bijvoorbeeld 380/220kV en 380/380kV) dan van ongelijke functie (bijvoorbeeld 380/150kV of 380/110kV of 220/110kV). Dit komt doordat de redundantie die overwegend per netvlak wordt verzorgd. Slechts in enkele gevallen draagt het onderliggende net ook bij aan de redundantie van het bovenliggende net.

Masten worden ontworpen volgens de Nederlandse norm NEN-EN 50341, waarbij in Nederland de hoogste, in de Europese versie van de norm genoemde, veiligheidsklasse wordt toegepast. Deze komt neer op een kans van optreden van de rekenbelastingen van eens in de 500 jaar, zie impressie uit de norm in figuur 7. De 'Return period T of climatic actions' houdt rekening met weersituaties die hooguit 1 keer per 500 jaar voorkomen. De rekenbelasting is een typerende windbelasting inclusief vlagen (te vergelijken met een in Europa voorkomende zeer zware storm (meer dan windkracht 11), maar niet zijnde een orkaan zoals in sommige andere delen van de wereld). Tevens wordt hierbij rekening gehouden met ijsafzetting. Hiermee wordt een niveau van constructieve veiligheid bereikt zoals vereist in de Nederlandse bouwregelgeving. Deze constructieve veiligheid wordt bijvoorbeeld ook toegepast op flatgebouwen.

3.2.2 Reliability of overhead lines

The reliability required for overhead lines, including all of its components and elements, is achieved by design according to this standard and Eurocodes 1, 2 3, 5, 7 and 8, and appropriate quality assurance measures.

The following a) or b) apply:

a) In accordance with their national experiences and calibrations carried out National Committees can decide to apply one reliability level, generally corresponding at least to reliability level 1 mentioned below. Exceptions to this shall be given in the NNAs.

b) When using the statistical approach, three different reliability levels for overhead lines may generally be considered as defined in Table 3.1, each corresponding to a given return period *T* of the climatic actions.

Table 3.1 – Reliability levels

Reliability level	**Return period T of climatic actions** Years
1	50
2	150
3	500

Figuur 9: In het ontwerp wordt rekening gehouden 'Reliability level 3'.

Bij het windtype wordt ook rekening gehouden met combinaties van wind en ijs. In figuur 4 een impressie van combinatiefactoren γ waarvoor in diverse toestanden rekening mee wordt gehouden. G = Permanent, Q = Variabel action en A = Accidental action.

4.2.11 (ncpt) **Partial factor for actions**

NL.1 The partial factors and combination factors for wind and ice which are related to reliability class 3 and a design working life of 50 years for the ultimate limit states (Table 4.2.11/NL.1).

Table 4.2.11/NL.1 - Partial factor and combination factor (ultimate limit state)

Load case and temperature	Value for γ_G, γ_Q, χ_Q and γ_A for the ultimate limit state				
	γ_G 1)	γ_Q or χ_Q 3)			γ_A
Loads	G_K	Q_{PK}	Q_{WK}	Q_{IK}	A_k
1a Wind, 10° C	1,2	-	1,5	-	-
1b Wind, - 20 °C	1,2	-	0,3	-	-
2 Not relevant	-	-	-	-	-
3 Wind+ice, - 5 °C	1,2		0,45	1,5	
4 Construction/maintenance + 5 °C	1,2	1,5	0,3	-	
5a Torsional, + 10 °C	1,0	1,0 2)	-	-	1,0
5b Not relevant	-	-	-	-	-
6 Permanent, + 10 °C	1,35	-	-	-	-
7 Special, + 10 °C	1,0	-	-	-	1,0

1) If permanent loads have a positive effect on the structural forces e.g. uplift forces on foundation γ_G = 0,9.
2) Only the load at the end of the crossarm, see 4.2.6.
3) $\chi_Q = \chi_O - \gamma_Q$, with reference to ENV 1991-1 "Basis of Design".

Figuur 10: Impressie uit de norm hoogspanningsmasten voor gelijktijdige belasting met wind en ijs.

TenneT heeft Kema opdracht gegeven[15] het mastfalen van de masten op 110kV en hoger in Nederland te onderzoeken. Op basis van de opgetreden incidenten in Nederland in de periode 1981-2010 komt Kema op een faalfrequentie van eens per 750 jaar per verbinding, hetgeen overeenkomt met de bandbreedte van de NEN-EN-50341. Hierbij wordt opgemerkt dat er in Nederland nog nooit masten van het 220kV-net of 380kV-net hebben gefaald, mede omdat deze overwegend zijn gebouwd tegen hogere normen dan een groot deel van de HS-masten uit eerdere perioden.

De faalkans van de nieuwe mastconstructie Wintrack is alleen theoretisch bekend volgens de hiervoor beschreven bouwnorm en kent nog geen statistiek uit de praktijk.

Mastfalen als gevolg van zware storm is in Nederland gering geweest en waar dit wel het geval was, kan gelet op de natuurverschijnselen (o.a. valwinden, extreme ijsvorming en contact met luchtvaartuig) gesproken worden van een force majeure. Nederland steekt wat betreft mastfalen gunstig af bij de ons omringde landen. Niet op de laatste plaats omdat er ook in het verleden is gebouwd volgens hoge normen (rekeningen gehouden met hogere windsterktes dan in het buitenland).

Robuustheid tegen aardbevingen

In de norm voor de bouw van hoogspanningslijnen wordt expliciet geen rekening gehouden met aardbevingen. Dit betekent niet dat de masten daar niet tegen bestand zijn. De functie en bouwwijze maken dat masten goed bestand zijn tegen trillingen. De verwachting is dat masten in Nederland ten minste bestand zijn tegen een aardbeving met een kracht van 6 op de schaal van richter. Bij aardbevingen spelen alle componenten in de elektriciteitsvoorziening een rol en niet alleen de hoogspanningsmasten. Dit zijn de railsystemen, schakelaars en scheiders, eventuele kabeleindsluiting en in gebouwen opgestelde beveiligingsapparatuur. In de norm IEC 60068-3-3 zijn eisen opgenomen ten aanzien van aardbevingsbestendigheid (withstand seismic forces on the Richter scale). Veel stationsapparatuur is bestand tot een aardbeving met een kracht van 5 tot 7. Gebouwen waarin secundaire apparatuur staat opgesteld is bestand tot een kracht van 6.

15 Afleiding faalfrequentie Wintrack masten, d.d. 8 feb 2012, nr. 76101024.350 – ETD/POL 12-00275

In Nederland kwamen in de periode enige tientallen aardbevingen voor met een kracht van 3 tot 5,8 (Roermond 1992). In Noord Nederland bedroeg de kracht veelal 3,5. Geconcludeerd kan worden dat de hoogspanningsnetten ten minste bestand zijn tegen een kracht van 5 op de schaal van Richter. Bij toenemende kracht zullen verbindingen eerst worden uitgeschakeld, maar is snel herstel nog mogelijk. Uiteindelijk raken stations en masten onherstelbaar beschadigd.

Storingsoorzaken van buitenaf
Masten zijn niet berekend op een aantal gebeurtenissen die in de praktijk incidenteel voorkomen, zoals beschadiging door contact met voertuigen, vaartuigen, vliegtuigen, kranen, overstroming, brand in nabijheid, lijndansen, enzovoort.

Invliegende objecten komen voor. Effect varieert afhankelijk van omvang vliegtuig; parapente, luchtballon, sportvliegtuigje, helikopter, passagiersvliegtuig. Vanaf luchtballon moet rekening worden gehouden met het gelijktijdig verlies van alle circuit in de verbinding. Vanaf helikopter moet rekening worden gehouden met mast beschadiging en toenemende reparatie duur.
Bij overstroming kan ondermijning van mast en fundatie ontstaan, dit komt echter nauwelijks voor. Kans op een abrupte onderbreking is klein, verzakking is meer waarschijnlijk, wat op een geschikt moment kan worden hersteld. In het mastontwerp wordt geen rekening gehouden met beschadiging door landbouwvoertuigen of sabotage. Hiertegen zijn in het algemeen ook geen voorzieningen tegen getroffen.
Brand in de nabijheid kan een mast eenvoudig doen bezwijken. Dit is in Nederland enkele malen voorgekomen. Hoewel een actief ontmoediging beleid wordt gevoerd rond bebouwing nabij hoogspanningslijnen, kan dit met inachtneming van veiligheidsafstanden niet worden verboden.
Ook hevige rook bij brand kan aanleiding voor gelijktijdige storing aan alle circuits in een mast, als gevolg van roetdeeltjes die kortsluiting veroorzaken.
Dansende lijnen als gevolg van sneeuw- en ijsafzetting komt in enkele gebieden in Nederland voor. Bij dansende lijnen benaderen de draden elkaar waardoor sluiting kan ontstaan en circuits door de beveiliging worden uitgeschakeld. Snel herstel is mogelijk maar het fenomeen kan zo hardnekkig zijn dat alle circuits uit bedrijf moeten worden genomen wegens herhaalde kortsluitingen. Tegen dansende lijnen zelf zijn nauwelijks maatregelen mogelijk. De gevolgen kunnen binnen het ontwerp van de lijn worden beperkt door meer afstand tussen de geleiders op te nemen of meer doorhang van de geleider. De gevolgen van storing/uitschakeling kan het beste worden opgelost binnen de netstructuur, met behulp van fysiek gescheiden ringstructuren.

6.2.4 Buitenlandse ervaringen en trends in Nederland
Het gekoppelde EHS-net in Europa bestaat overwegend uit enkel- en dubbelcircuit lijnen. EHS-lijnen met meer dan 2 circuits komen sporadisch voor. Dat deze lijnen niet veelvuldig voorkomen heeft mede te maken met de wijze waarop het net zich door de jaren heen heeft ontwikkeld. In aanvang is er geen behoefte aan EHS-combinatielijnen met meer dan 2 circuits en uitbreiding vindt gangbaar plaats met enkel of dubbelcircuit. Alleen in het geval een bestaande corridor te weinig ruimte biedt of wanneer aan het landschap een hoge waarde wordt toegedicht wordt uitbreiding door middel van combinatie met bestaande lijnen overwogen.

Als gevolg van de principes voor tracéring uit SEVIII (combineren en bundelen) zullen de netten voor een groter deel gaan bestaan uit combinatielijnen. Er mag verondersteld worden dat het falen van een EHS-combinatie lijn een groter effect sorteert dan een dubbelcircuitlijn. Dit betekent dat als gevolg van het combineren het risico voor de leveringszekerheid in toenemende mate wordt groter wordt.

6.3 Mogelijke oplossingen bij mastfalen

Mastfalen kan worden opgelost door deze onder de enkelvoudige storingsreserve te rekenen. Het kan ook worden opgelost door sterkere masten en beheersing van onheil van buitenaf of het gebruik van enkelcircuit-lijnen. Oplossing kunnen ook gevonden worden door het effect te verkleinen, door middel van de netstructuur, minder circuits per mast of het gebruik van noodmiddelen om de onderbrekingsduur te bekorten.

Masten worden al volgens zware normen gebouwd, het nog zwaarder uitvoeren doet de kosten opdrijven terwijl tegen sommige gebeurtenissen een mast nooit sterk genoeg is. Beheersing van de omgeving gebeurt ook al in het kader van beheer (uitoefening van de eisen uit de Zakelijke Recht Overeenkomst, leidingenbeheer via het KLIC, toezicht tijdens werkzaamheden in de nabijheid van de hoogspanningslijn, enzovoort).

Een vermaasde netstructuur is de meest robuuste oplossing. Dit is een vorm van kansverkleining die het beste werkt indien de verbindingen ook fysiek gescheiden door het landschap worden aangelegd (> ca. 6 km).

Minder circuits op een mast is gunstig voor de voorzieningszekerheid, echter het bouwen van alleen enkelcircuit-lijnen is ondenkbaar gezien het ruimtebeslag en landschapsbeeld dat hiermee ontstaat. Van combi-lijnen terug naar dubbelcircuit geeft een belangrijke verbetering voor de leveringszekerheid, in het bijzonder bij combi-lijnen met circuits van gelijke functie.
Als onderbreking niet kan worden voorkomen is snel herstel van belang. In een situatie waarbij één mast faalt kunnen ook de twee masten ervoor en er na gemakkelijk worden omgetrokken. De netbeheerder is in dat geval in staat met eigen noodlijnen (Figuur 11) de defecte circuits weer te herstellen. Neemt de lengte waarover de schade plaatsvindt toe dan zal ten minste één circuit worden hersteld.



Figuur 11: Installatie van een noodmast vraagt veel ruimte, hier een noodmast 110kV-enkelcircuit.

Een kwetsbaar punt zijn masten bij waterkruisingen met grote en hoge overspanning. Deze zijn niet door middel van noodmasten te overbruggen en moeten eventueel provisorisch worden hersteld. Indicatief kan een noodlijn binnen 24 uur worden opgezet. Provisorisch herstel van riviermasten kost 2 tot 5 dagen.

6.3.1 Noodstroomaggregaten

Noodstroomaggregaten kunnen als oplossing dienen voor een stroomstoring en helpen een langdurige onderbreking tegen gaan. Ze moeten echter wel worden aangevoerd wat tot een zekere responstijd leidt. Hoe groter het door noodstroomaggregaten te voeden vermogen, des te langer wordt de responstijd. Dit is het gevolg van aanrijtijden en de benodigde tijd voor het aansluiten van of veel kleine aggregaten of het installeren van enkele grote eenheden. Gegeven de verwachte storingsduur van veelal tussen de 1 en 48 uur, is een responstijd tussen de 4 en 12 uur gewenst. In de huidige praktijk kan ten hoogste een deel van de belasting door middel van noodstroomaggregaten worden gevoed. Het is een forse opgave voor de sector om dit aandeel te verhogen. Dit zou wel bereikt kunnen worden met grotere aggregaten dan de tot nu toe gebruikelijke en aansluiting op middenspanning in plaats van op laagspanning.

Volgens het rapport 'Beleidsadvies N-1' van E-bridge d.d. 7 december 2006[16] zijn de maatschappelijke kosten voor het beschikbaar houden noodstroomaggregaten negatief. De minister rapporteerde hierover het volgende aan de kamer[17].

> ***Noodstroomaggregaten***
> *E-Bridge heeft verder onderzocht in hoeverre het zinvol is te investeren in additionele noodstroom aggregaten om de elektriciteitsvoorziening aan verbruikers in het geval van een langdurige onderbreking sneller te kunnen herstellen*
> *Analyse van de grote en langdurige stroomstoringen in Nederland laat zien dat er slechts bij een beperkt aantal storingen noodstroom aggregaten werden ingezet. De kosten van de aanschaf van additionele noodstroom aggregaten wegen, volgens het onderzoek, alleen op tegen de kosten bij frequent voorkomende ernstige storingen. Dit zijn storingen waarbij meer dan 60 MW langer dan 48 uur is afgeschakeld. Deze storingen zouden dan minimaal een keer in de tien jaar voor moeten komen. In Haaksbergen ging het om afschakeling van 36 MW en het is tevens de grootste Nederlandse stroomstoring tot op heden.*
> *Op basis van bovenstaande concludeer ik dat additionele noodstroom aggregaten slechts in zeer uitzonderlijke gevallen, te weten bij meer dan 60 MW uitval en langer dan 48 uur, ingezet kunnen worden. Deze storingen moeten dan tevens minimaal een keer in de 10 jaar voorkomen. Investeringen in deze kostbare voorzieningen staan mijns inziens absoluut niet in verhouding tot het doel en zijn om deze reden mijns inziens niet wenselijk.*

6.4 Kans en effect falen masten

Volgens de bouwnorm is de faalkans kleiner dan 1 keer in de 500 jaar. Uit Kema onderzoek naar recente praktijk rond mastfalen komt minder dan 1 keer per 750 jaar naar voren.

Hierbij dient te worden vermeld dat van de nieuwe Wintrack-masten nog geen betrouwbaarheidsstatistiek bestaat. De faalkans is dus uitsluitend gebaseerd op de bouwnorm. In de praktijk kunnen eventuele ongewenste fenomenen nog tot een hogere faalkans leiden.

Effect mastfalen

---

[16] Beleidsadvies N-1, beleidsadvies over de rol van N-1 in het netontwerp van het elektriciteitsnet en de inzet van noodstroomaggregaten bij grootschalige en langdurige onderbrekingen, E-bridge, december 2006.

[17] Tweede Kamer der Staten-Generaal, Vergaderjaar 2006-2007, Kamerstuk 29023 nr. 39

Het effect van mastfalen hangt nauw samen met de netconfiguratie en de heersende belasting in het net. Bij uitlopers leidt dit vrijwel in alle gevallen tot een onderbreking van de levering, tenzij het onderliggende net dit kan opvangen vanuit station dat van een andere zijde in het HS-net wordt gevoed. In het algemeen kan dit niet of slechts in beperkte mate. Mastfalen in een vermaasd net leidt lang niet altijd tot een onderbreking van de levering, voorwaarde is dan wel dat niet gelijktijdig circuits uit bedrijf zijn voor onderhoud en de belasting van het net niet maximaal is. Het grensgeval is die situatie waarbij mastfalen leidt tot een geringe overbelasting elders in het net, maar de overbelasting nog direct teniet kan worden gedaan door redispatch. In hoeverre redispatch mogelijk is hangt af van de mogelijkheden om opwekking van elektriciteit te beïnvloeden. Deze mogelijkheden nemen in Nederland af als gevolg van verminderde spreiding van productie vanwege concentratie van opwekking op bepaalde locaties (bijv. de Eemshaven).

Zijn overbelastingen te groot dan volgt uitschakeling van het overbelaste circuit, dit om beschadiging van de geleiders te voorkomen en de hoogspanning voor het publiek veilig te houden. De uitschakeling leidt in de HS-netten maximaal tot onderbreking van een deelgebied (tot 1.000 MW).

In het EHS-net zijn de gevolgen minder voorspelbaar omdat het Europese net geen deelgebieden kent. Dit betekent dat een storing gemakkelijk kan propageren tot over landsgrenzen. Naast overbelasting van verbindingen, kan hiermee ook de systeemstabiliteit in gevaar komen als gevolg van het verlies van zeer grote hoeveelheid productie, met frequentiedaling tot gevolg. Door de onverwachte uitschakeling kan tevens dynamische instabiliteit optreden, waarbij generatoren gaan slingeren en indien dit niet meer gedempt kan worden, zij van het net worden geschakeld.

Bovenstaande effecten zijn samengevat in Tabel 3. Geen effect treedt op bij lage belasting in het net en volledig beschikbaar net (bijvoorbeeld 's nachts), een zeer groot effect treedt op bij hoge belasting en/of opwekking en onderhoudswerkzaamheden in het net (bijvoorbeeld op een werkdag overdag).

Tabel 3: Effect mastfalen HS en EHS

Netvlak	Effect op belasting	Effect op systeem
HS	geen…beperkt	geen…gering
EHS	geen…zeer groot	geen…zeer groot

6.5 Alternatieven voor bovengrondse uitloperverbindingen

Alle HS-stations met maximaal twee circuits worden gerekend tot de uitlopers. Dit kunnen stations zijn die zowel met kabel als met bovenlijn zijn aangesloten. TenneT heeft een lijst opgesteld met uitlopers die vanuit omvang van de belasting versterkt moeten worden, Figuur 12. De lijst is overgenomen uit het 'Position paper uitlopers' van TenneT mei 2010[18] Momenteel lopen de voorbereidingen om de uitlopers aan te pakken.

[18] "Position paper 150kV- en 110kV-uitlopers"; TenneT; mei 2010

Overzicht "opheffen" uitlopers groter dan 100 MW

Uitloper	Lengte km	Debiet MW	Kabel/ Lijn
Anna Paulowna	29,7	111	Lijn
Arkel	23,4	119	Lijn
Westwoud	20,9	152	Lijn
Budel	9,5	140	Lijn
Tilburg Zuid	8,5	103	Kabel
Alblasserdam [1]	5,8	205	Lijn
Dordrecht Zuid	4,6	160	Kabel
Rt/Ommoord	0	150	Kabel
Eerde	0	125	Lijn
Rt/Centrum	0	115	Kabel
Rt/Zuidwijk	0	105	Kabel

[1]) Daarin opgenomen Arkel 119 MW

Figuur 12: Overzicht te versterken uitlopers met een debiet van meer dan 100 MW.

Op vragen uit de Tweede Kamer inzake stroomstoring Bommelerwaard heeft de minister hierover het volgende geantwoord[19] (18 november 2011).

> *Klopt het daarnaast dat in dit investeringsprogramma TenneT alleen de uitlopers gaat aanpakken waarvan de belasting nu of in de nabije toekomst boven de 100 MW komt en dat de uitloper in de Bommelerwaard (60MW) hier niet in wordt meegenomen?*
> *Antwoord (4 en 5)*
> *Ja, dat klopt. In de Netcode Elektriciteit zijn eisen gesteld met het oog op o.a. de betrouwbaarheid van 110 kV- en 150 kV hoogspanningsnetten. Om aan deze eisen te voldoen heeft TenneT een investeringsprogramma gestart ter grootte van € 127 miljoen.*

Kosten oplossen uitlopers

Toepassing van enkelvoudige storingsreserve op masten betekent voor HS-netten dat ten minste alle uitlopers met bovenlijn in deze netten moeten worden versterkt. Hierbij wordt uitgegaan van versterking met een ondergrondse kabel. Dit is door TenneT in 2009 begroot op 565 M€ (770 M€ indien ook de uitlopers met kabel worden aangepakt). Indien het mastfalen ook zou gelden tijdens werkzaamheden aan de kabel, dan moet het bedrag worden verdubbeld voor een extra kabel. Vooralsnog wordt hier alleen uitgegaan van enkelvoudige storingsreserve op masten tijdens 'normaal' bedrijf.

De HS-verbindingen die deel uitmaken van een vermaasd net zullen bij volledig beschikbaar net nagenoeg voldoen aan de enkelvoudige storingsreserve op de masten. Dit geldt niet tijdens onderhoud (elders aan een circuit in het net).

[19] Tweede Kamer der Staten-Generaal, Vergaderjaar 2011-2012, Kamerstuk 29023 nr. 114

Opmerking
Voor de kosten - baten van versterking van uitlopers in HS-netten wordt gerefereerd aan de SEO-rapporten uit 2003, 2004, 2007 en 2009 Hieruit blijkt dat de kosten - batenanalyse sterk negatief uitvalt, met per geval wel een factor 8. Dit betekent dat ook wanneer de baten veel hoger zouden worden gewaardeerd dit nog steeds negatief blijft. Dit is te verklaren door de geringe kans van optreden van een onderbreking.

Voor enkelvoudige storingsreserve op EHS-masten geldt hetzelfde, uitlopers moeten worden voorzien van een extra dubbelcircuit. Dit proces loopt momenteel al, met de uitbreiding van de aansluiting van de stations Eemshaven, Beverwijk, Maasvlakte en Borssele, maar dan als reden onderhoud aan een circuit en uitval van het nevencircuit.

Wanneer de enkelvoudige storingsreserve alleen wordt toegepast op masten tijdens normaal bedrijf, dan is de situatie enigszins vergelijkbaar met de toetsing van het net tijdens onderhoud. Op dat moment dient namelijk ook rekening te worden gehouden met het verlies van twee circuits, zij het dat het onderhoud niet op elk tijdstip hoeft plaats te kunnen vinden. Extra investeringen zijn daarmee grotendeels gelijk aan investeringen die al voortkomen uit de eisen van het netontwerp.

Mastfalen van een mast met daarop een combi-lijn op EHS-niveau betekent het gelijktijdig verlies van 4 circuits met dezelfde functie. Toepassen van de enkelvoudige storingsreserve leidt tot uitbreiding met extra circuits, of, omdat deze masten nog niet zijn gebouwd (wel gepland), tot het uitsplitsen naar twee dubbelcircuit-lijnen, met bijbehorende landschappelijke impact. Verdere uitbreiding van bovengrondse verbindingen nadat eerst HS-lijnen zijn weggenomen en gecombineerd met EHS-lijnen is maatschappelijk niet realistisch, gelet op de ruimtelijke impact. Uitsplitsing van combi-lijnen brengt extra kosten mee bij de aanleg en uiteindelijk ook in het beheer (schadevergoeding, ZR-vergoeding). Daar tegenover staat dat bestaande lijnen waarmee wordt gecombineerd niet behoeven te worden herbouwd en afgebroken. Doordat combineren altijd met bestaande verbindingen plaatsvindt is dit per definitie duurder dan solo nieuwbouw met nieuwe doorsnijding van het landschap. De meerkosten van combineren en het kwaliteitsverlies voor de leveringszekerheid moeten echter worden afgezet tegen de maatschappelijke baten van minder grondbeslag, landschapaanzien en natuurbehoud.

Een kosten-baten-analyse van combinatie-lijnen met circuits van gelijke functie is niet eerder gemaakt. De baten bestaan uit het voldoen aan internationale afspraken en het beschermen van het Europese net, de kosten bestaan overwegend uit het meerdere gebruik van grond, inbreuk op het landschap, vergoeding aan landeigenaren, enzovoort. Beide zijn niet nauwkeurig inzichtelijk te maken. Bovenop het mechanisch falen van de mast door extreme weersomstandigheden komen nog de onverwachte gebeurtenissen, zoals ondermeer beschadiging door landbouwwerktuigen en vlieg- en vaartuigen. Dit verhoogt de totale faalkans van de verbinding. Voor EHS-combi-lijnen kan het effect oplopen tot zeer groot, zowel voor de afgeschakelde belasting als voor de stabiliteit van het net (risico van een voltage collapse). Daar het effect van het totaal falen van een EHS-combi-lijn vele malen groter is dan van een gangbaar dubbelcircuit lijn of van een gecombineerde EHS-HS-combinatie is hiervoor specifiek onderzoek in gang gezet naar het verder verantwoord kunnen toepassen van dit type lijn.

6.6 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Vanuit de technische optiek is in Nederland een dubbelcircuit mast ten opzichte van enkelcircuit masten een verantwoorde keuze. Ook vanuit de economische optiek, veelal van destijds, is het een begrijpelijke keuze (klein land en hoge energiedichtheid).
De toepassing van een n-1 criterium op circuits is een economisch verantwoorde keuze vanwege de relatief hoge storingsfrequentie van bovengrondse circuits en het belang van de elektriciteitsvoorziening. Voor een n-1 criterium op masten geldt dit niet, vanwege de lage kans van optreden van een dergelijke storing, de ruimtelijke impact voor de aanleg van meer mastenlijnen om aan het n-1 criterium te voldoen en de meerkosten die hiermee gepaard gaan.

Een n-1 criterium voor masten zou tot doel hebben het net robuust te maken voor onderbreking van meerdere circuits ten gevolge van het falen van de draagconstructie (mast). De bovengrondse verbindingen in Nederland zijn tot nu toe vrijwel uitsluitend als dubbelcircuit verbindingen uitgevoerd, falen van de mast leidt dan tot de onderbreking van twee circuits. In een uitloper ontstaat dan een onderbreking van de transportdienst, denk daarbij aan de storing in Bommelerwaard waarbij een helikopter de mast beschadigde. In ringvormige netstructuren hoeft mastfalen niet perse tot een onderbreking van de transportdienst te leiden omdat het gevraagde vermogen bij een onderbreking van een mastenlijn vanuit twee richtingen kan worden geleverd.

De situatie bij combinatielijnen met meer dan 3 circuits EHS is wezenlijk anders omdat het effect van een falende mast veel groter wordt. In het geval van falen van een 4 circuit EHS-lijn zijn noodstroomaggregaten geen oplossing omdat een te omvangrijke belasting kan wordt getroffen. Herstel van een minimum aantal circuits met behulp van noodlijnen is in de meeste gevallen wel binnen 24 uur haalbaar. Hierbij spelen bereikbaarheid en weersomstandigheden wel een belangrijke rol voor de hersteltijd. In het geval van mastfalen bij een waterkruising kan de hersteldduur oplopen tot wel 5 dagen.

Doordat conventionele opwekking zich steeds meer concentreert aan de kustlocaties, nemen de mogelijkheden af om ingeval van mastfalen door redispatch de voorziening in stand te houden of op gang te brengen. De spreiding van beïnvloedbare opwekking neemt af en daarmee neemt de afhankelijkheid van gecombineerde 4 circuit EHS-lijnen die hiermee verbonden zijn toe.

Aanbevelingen

Rekeninghoudend met:

- de inpassingproblematiek rondom bovengrondse hoogspanningverbindingen;
- de zeer lage kans op mastfalen door extreme weersomstandigheden en andere externe oorzaken;
- de mogelijkheden tot snel herstel met noodmasten;
- de spreiding in het effect van mastfalen (leidt niet altijd tot een leveringsonderbreking als gevolg van ringstructuren);

is een generieke toepassing van een enkelvoudige storingsreserve op hoogspanningsmasten ongewenst.

Mastfalen bij uitlopers heeft wel directe gevolgen voor de levering, maar ook hier zijn de maatschappelijke kosten - baten voor toepassing van enkelvoudige storingsreserve op de masten in alle gevallen negatief. (Oplossing bestaat in dat geval uit een parallel gelegen ondergrondse kabel). Indien echter een netuitloper bestaat uit gecombineerde 220/380kV-110/150kV circuits, kunnen de effecten groter zijn en moet een projectspecifiek analyse uitgevoerd worden.

Gezien de mogelijke impact op de betrouwbaarheid van het elektriciteitsvoorzieningsysteem en het toenemende risico ten gevolge van een toenemend gebruik van gecombineerde verbindingen met drie of

meer circuits met een spanning van 220kV en hoger, is het wenselijk hier vervolgonderzoek naar te laten uitvoeren. TenneT heeft hiertoe extern een onderzoeksopdracht uitgezet. Onderzocht wordt of er vanuit de betrouwbaarheid van het elektriciteitsvoorzieningsysteem een wettelijke begrenzing of wettelijk vastgelegde voorwaarden nodig zijn ten aanzien van het combineren van drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger op een enkele mast.

Het onderzoek naar de gecombineerde lijnen met drie of meer circuits heeft niet ten doel het gebruik van de 4-circuit 380kV lijnen te blokkeren bij RCR-projecten die reeds een besluit genomen hebben over de toepasbaarheid van deze masten. Het onderzoek heeft ten doel de risico's en mogelijke mitigatie in kaart te brengen als functie van een toenemend aantal verbindingen waarin drie of meer circuits met een spanning van 220kV en hoger gecombineerd worden.

7 Kortstondige onderbreking 110 en 150 kV (10 minuten regel)

7.1 Samenvatting en advies

Er bestaat een discrepantie tussen de letterlijke wettekst van artikel 31, eerste lid, onderdelen 12 en 13, van de Elektriciteitswet 1998, de bijbehorende Regeling tariefstructuren en voorwaarden elektriciteit en de Netcode Elektricteit (hierna: Netcode) op het gebied van de enkelvoudige storingsreserve aan de periferie van de 110 en 150 kV-netten, alwaar de regionale netbeheerders het beheer voeren over de HS/MS-transformatoren. Hiervoor is kortweg, op grond van de Netcode, een uitzondering op de enkelvoudig storingsreserve toegestaan indien de mogelijke onderbrekingsduur korter is dan 10 minuten en het vermogen lager is dan 100 MW. De actuele tekst van de E-wet biedt geen ruimte voor deze uitzondering. Ogenschijnlijk bestaat de discrepantie binnen de Wet al tussen artikel 31 en artikel 16, waarin gewezen wordt op zowel leveringszekerheid als doelmatigheid.

Op grond van de geringe impact van een transformatorstoring, vanwege het snelle herstel van de energielevering (doorgaans binnen enkele minuten), in relatie tot storingen aan andere componenten, is de bijdrage aan de jaarlijkse uitvalduur (JUD) beperkt: 6 seconden op totaal ongeveer een half uur (gemiddeld komt zo’n onderbreking acht keer per jaar voor en worden telkens circa 20.000 klanten getroffen). Dit betreft die storingen waar geen energieonderbreking zou hebben plaatsgevonden wanneer op grote schaal extra transformatoren zouden zijn geïnstalleerd en de MS-netten aangepast zouden zijn om het redundant bedrijven van HS/MS-transformatoren te faciliteren. Een exercitie die vele honderden miljoenen Euro zou vergen, immers bij een nieuw te bouwen 150/20 kV-station bedragen de meerkosten al snel meer dan 4 miljoen Euro. Kosten die onevenwichtig veel hoger zijn dan de te behalen baten.

In de volgende paragrafen wordt toegelicht, waar de discrepantie binnen wet en regelgeving zit, op welke wijze in de huidige bedrijfsvoering energie-onderbrekingen aangeslotenen getroffen worden, welke alternatieve mogelijkheden om de transformatoren te bedrijven er zijn, wat de voor- en nadelen van die oplossingen zijn, en hoe de kosten en baten er globaal uitzien.

Geadviseerd wordt wet en regelgeving te harmoniseren zodanig dat de leveringszekerheid meer in balans komt met de doelmatigheid door de huidige bepaling in de Netcode op dit punt in de E-wet te verankeren. Dat wil zeggen dat in de wettekst op de enkelvoudige storingsreserve voor de HS/MS-transformatoren een uitzondering mogelijk wordt gemaakt, of dat de wettekst zodanig wordt geformuleerd dat het weer mogelijk wordt om in de lagere regelgeving die uitzondering te maken. Aan die uitzondering worden beperkingen gesteld in termen van omvang en duur van een stroomonderbreking. Conform de Netcode zou de mogelijke stroomonderbreking korter moeten zijn dan tien minuten en het getroffen vermogen lager dan 100 MW.

7.2 Inleiding

In de Elektriciteitswet 1998 wordt gesteld dat netten met een spanning van 110 en 150 kV uitgelegd dienen te zijn met een enkelvoudige storingsreserve en ook als zodanig bedreven moeten worden. De enige genoemde uitzondering hierop is dat tijdens onderhoud er geen storingsreserve hoeft te zijn, indien de mogelijke onderbrekingsduur korter is dan 6 uur en het getroffen vermogen lager dan 100 MW. Het betreft artikel 31, eerste lid, onderdelen 12 en 13. In de Netcode staat ten gevolge daarvan in artikel 4.1.4.6, onderdeel a, dat het netontwerp van 110 en 150 kV netten getoetst moet worden op een enkelvoudige storingsreserve. Hierop is echter een uitzondering mogelijk als de onderbrekingsduur korter is dan 10 minuten en het vermogen lager dan 100 MW. De Netcode sluit hiermee goed aan bij de feitelijke praktijk

van ontwerpen en bedrijven van de HS/MS-transformatoren. Deze transformatoren zijn in beheer van de regionaal netbeheerders en bevinden zich aan de periferie van de 110 en 150 kV-netten. De praktijk geeft ook invulling aan de Regeling Tariefstructuren en Voorwaarden elektriciteit, artikel 13, tweede lid, waarin voorgeschreven wordt dat de netbeheerder op basis van een kosten/baten-analyse mag afwijken van de enkelvoudige storingsreserve.

De huidige, in de Netcode toegestane onderbreking van 10 minuten op 110 en 150 kV maakt het mogelijk op in deze netten gebruik te maken van omschakelbare enkelvoudige storingsreserve. Indien een enkelvoudige storing leidt tot uitval van een component en dus een onderbreking, kan snel worden omgeschakeld naar de aanwezige maar nog niet in bedrijf zijnde reservecomponent.

De omschakelbare storingsreserve wordt met name gebruikt bij de HS/MS-transformatoren met bijbehorende aansluiting. Deze werkwijze verlaagt de kortsluitstromen in het distributienet, met name bij de grotere transformatoren (30 MVA en groter), en voorkomt buitensporige investeringen in het distributienet en extra investeringen in additionele HS/MS-transformatoren met bijbehorende velden en bouwkundige voorzieningen. Ruimtelijke ordening, inclusief geluidshinder, speelt eveneens een rol bij de afweging tussen maatschappelijke lasten ten gevolge van de circa 15 energie-onderbrekingen per jaar (landelijk), doorgaans korte duur, versus de maatschappelijke lasten als gevolg van grotere stations.

7.3 Huidige leveringszekerheid

Om de energie-onderbrekingen ten gevolge van de 150 en 110 kV transformatoren in perspectief te plaatsen, is de landelijke Nestor database over de afgelopen vijf jaren geanalyseerd. In deze landelijke Nestor database registreren alle netbeheerders de storingen en onderbrekingen in hun net.

De 110 en 150 kV-netten hebben gemiddeld jaarlijks 2,6 minuten bijgedragen aan de jaarlijkse uitvalduur (JUD) van ongeveer een half uur. Daarvan komt 1 minuut ten laste van de 110 en 150 kV-transformatoren met bijbehorende HS-schakelvelden. Van deze 1 minuut komt 0,18 minuut per jaar op conto van de transformatoren zelf (11 sec).

In de vijf geanalyseerde jaren zijn er 75 energie-onderbrekingen geweest (gemiddeld 15 per jaar) ten gevolge van de transformatoren met bijbehorende HS-velden, waarvan de helft ten gevolge van de transformatoren zelf. Het energieherstel bij een onderbreking ten gevolge van de transformatoren zelf heeft grotendeels (31 van de 37 keer) binnen tien minuten plaatsgevonden, waarvan 26 keer binnen vijf minuten (3 keer zelfs binnen één minuut). Vijf keer heeft het herstel langer dan 20 minuten geduurd. Wanneer de bijbehorende velden worden meegenomen blijken 48 van de 75 onderbrekingen binnen tien minuten verholpen te zijn (40 binnen vijf minuten) en elf hebben langer dan 20 minuten geduurd.

7.4 Alternatieven in bedrijfsvoering van HS/MS-transformatoren

Normale bedrijfsvoering van HS/MS-transformatoren

Voor de normale bedrijfsvoering van HS/MS-transformatoren zijn er drie mogelijkheden:

1. Reserve HS/MS-transformator is niet in bedrijf
2. Alle transformatoren zijn in bedrijf op gescheiden MS-rails of MS-railsecties
3. Alle transformatoren zijn parallel in bedrijf, dus op gekoppelde MS-rails of MS-railsecties.

Uitval van één transformator of HS-aansluitveld

Wat gebeurt er bij uitval van één transformator of HS-aansluitveld bij bovengenoemde drie mogelijkheden:

1. Nadat geconstateerd is dat de fout in de transformator-zone of HS-aansluitveld zit, wordt de reserve-transformator (al dan niet automatisch) ingeschakeld. De energie-onderbreking duurt enkele minuten of circa één minuut in geval van automatisch omschakelen (ping-pong schakeling).
2. Nadat geconstateerd is dat de fout in de transformator of in het HS-aansluitveld zit, kunnen de MS-rails of MS-railsecties gekoppeld worden. De energie-onderbreking zal enkele minuten duren of circa één minuut in geval van automatisch omschakelen.
3. Wanneer er een fout optreedt in de transformator of in het HS-aansluitveld, treedt er geen energie-onderbreking op.

7.4.1 Effect van automatisch omschakelen op de leveringszekerheid

Het aanbrengen van automatische omschakelapparatuur, ook wel ping-pong schakeling genoemd, lijkt op het eerste gezicht een kortere onderbrekingsduur te geven en dus een verbetering van de jaarlijkse uitvalduur. Toch gebruiken de netbeheerders deze automatische omschakeling niet vaak.

Hoofdreden voor het sporadische gebruik van automatische omschakeling ligt in de complexiteit en dus storingsgevoeligheid van deze apparatuur. Zo moeten allerlei voorwaarden zijn ingebouwd om de schakeling correct te laten werken bij onderhoud aan delen van de installaties. Moeten controles en wachttijden (scheiderstand) ingebouwd worden zodat niet automatisch op een sluiting wordt ingeschakeld etc.

Analyse van een aantal storingen in het verzorgingsgebied van Liander laat zien dat met handmatige omschakeling de onderbreking meestal met twee minuten hersteld is. De langere onderbrekingen zijn complexer in hun analyse waardoor het bedrijfsvoeringcentrum meer tijd nodig heeft voor analyse en een ping-pong schakeling geen voordeel zou opleveren, omdat de logica door de complexe storing wordt geblokkeerd dan wel niets toevoegt. Dit wordt bevestigd door de andere regionale netbeheerders.

Hoewel automatische omschakelapparatuur de onderbrekingstijd iets kan verkorten is de kans op niet of foutief werken reëel. Bij het niet-werken van de automatische omschakeling zal dit leiden tot extra analysetijd bij een onderbreking. Een korte berekening geeft aan dat de winst van het sneller omschakelen al gauw teniet wordt gedaan als de automatische omschakeling een keer niet goed werkt.

7.4.2 Effect van parallel bedrijf op de leveringszekerheid

Zoals in paragraaf 4.2 vermeld zijn er gemiddeld 15 onderbrekingen per jaar ten gevolge van de transformatoren met bijbehorende HS-velden, waarvan de helft ten gevolge van de transformatoren zelf.

In ongeveer de helft van deze gevallen was er geen energieonderbreking geweest wanneer er twee transformatoren parallel in bedrijf zouden zijn geweest. In de andere helft van de gevallen had een tweede transformator niet geholpen doordat de storingen doorwerkten in andere delen van de installatie of omdat de reserve transformator in onderhoud was. Ook tijdens bijzondere bedrijfsvoering (gesplitste rails) of daar waar de storing veroorzaakt wordt door problemen in de secundaire en/of beveiligingssystemen (inclusief MS-rail- en back-up beveiliging) had parallel bedrijf niet geholpen. Schakelfouten kunnen eveneens niet altijd opgevangen worden door parallel bedrijf.

De omvang van een energie-onderbreking door een transformatorstoring met bijbehorende velden beloopt enkele tientallen MW met enkele tienduizenden getroffen aangeslotenen. Met behulp van de database, die gebruikt wordt om de landelijke Nestor-rapportage te verzorgen, zijn de elektriciteits-onderbrekingen in de jaren 2008 tot en met 2012 geanalyseerd voor zover ze betrekking hebben op de HS/MS-transformatoren met bijbehorende velden. De storingen zijn beperkt tot 150 en 110 kV-transformatoren. Nadat door de regionale netbeheerders nadere details rond de onderbrekingen waren verzameld, zijn de volgende

storingen uit de analyse verwijderd: 150- en 110 kV-klantaansluitingen (die doorgaans enkelvoudig zijn uitgerust), 50 kV-storingen en lijnstoringen. Storingen waarbij transformatoren rechtstreeks op een kabel of lijn zijn aangesloten (“transformatoren op een steeltje”) zijn echter wel meegenomen.

Voor de jaren 2008 tot en met 2012 levert voorstaande selectie een bestand met 71 onderbrekingen op. Vermeldenswaardig is dat er tweemaal sprake was van parallelbedrijf en dat er driemaal een onderbreking was in een station met pingpong-voorziening (tweemaal was de reserve-transformator niet beschikbaar en één maal weigerde de pingpong).

Aan de hand van nadere gegevens is beoordeeld of middels de theoretische situatie van parallelbedrijf de onderbreking voorkomen had kunnen worden. In een paar gevallen is het niet duidelijk of door middel van parallel bedrijf voeren de onderbreking voorkomen had kunnen worden, maar in de analyse is aangenomen dat ook hier het parallelbedrijf geholpen zou hebben.

Van de 71 onderbrekingen zijn er aldus 32 te benoemen waarbij parallelbedrijf niet geholpen zou hebben en 39 waarbij dat wel geholpen zou hebben. Daar waar parallelbedrijf geholpen zou hebben betrof het gemiddeld 0,1 miljoen verbruikersminuten per storing. De hersteltijd, althans de eerste stap in het herstel, duurde gemiddeld 5 minuten. Zonder de twijfelgevallen wordt dat 4 minuten met een verdeling waarbij 95% een kortere duur dan 10 minuten kende en ruim 60% een herstel binnen 3 minuten.

Met, per jaar, bijna 8 onderbrekingen, waarbij parallelbedrijf geholpen zou kunnen hebben, kosten dergelijke storingen gemiddeld 0,8 miljoen verbruikersminuten, verdeeld over 8 miljoen klanten, waarmee deze storingen dus minder dan 0,1 minuut oftewel 6 seconden bijdragen aan de gemiddelde jaarlijkse uitvalduur.

De 32 onderbrekingen waarbij parallelbedrijf niet zou helpen, dan wel niet geholpen heeft, gaven gemiddeld 1 miljoen verbruikersminuten per storing. De hersteltijd, althans de eerste stap, beliep gemiddeld 27 minuten. Met, per jaar, 6 onderbrekingen draagt deze categorie bijna 1 minuut, te weten 49 seconde, bij aan de jaarlijkse uitvalduur.

Geconcludeerd kan worden:
- dat de onderbrekingen, waar theoretisch parallelbedrijf de uitval had kunnen voorkomen, een tienvoudig lagere impact hebben dan storingen waar dat niet lukt
- dat de kans van optreden slechts weinig hoger ligt dan de kans op een energie-onderbreking waarbij parallelbedrijf niet helpt
- dat de hersteltijd beduidend korter is. Voor het leeuwendeel is de herstel korter dan drie minuten en voor 95% korter dan tien minuten. Tegenover een gemiddelde hersteltijd van 4 of 5 minuten staat een gemiddelde hersteltijd van 27 minuten, daar waar parallelbedrijf toch niet had geholpen
- dat parallelbedrijf, als dat al mogelijk zou zijn, tot een reductie van de jaarlijkse uitvalduur van maximaal zes seconde op jaarbasis zal leiden
- dat de omvang van dergelijke storingen gemiddeld zo’n 20.000 à 25.000 klanten betreft gedurende enkele minuten en dat dit landelijk gezien acht keer per jaar optreedt.

7.5 Mogelijkheden tot overgaan naar parallel bedrijf

Indien wordt overgegaan op parallel bedrijf van de HS/MS-transformatoren kunnen onderbrekingen ten gevolge van enkelvoudige transformatorstoringen in de helft van de gevallen voorkomen worden.

Het grootste probleem bij parallelbedrijf is dat de kortsluitvastheid van de 10 kV-distributienetten niet is gedimensioneerd voor het hogere kortsluitvermogen. Dat houdt in dat niet alleen de transformator aangepast zou moeten worden maar ook het onderliggende 10 kV-net. Dat maakt het aanpassen van schakelapparatuur en kabels een zeer kostbare aangelegenheid. Daarnaast zullen de 150/10 kV-stations aangepast moeten worden door zwaardere 10 kV-schakelinstallaties te plaatsen, evenals meerdere transformatoren en uitbreiding van het aantal 150- of 110 kV-velden. Vergunning-technisch (met name geluidshinder) zal het bedrijfsvoeren met meer transformatoren op nogal wat plaatsen tot problemen leiden. Uitbreiding van het aantal transformatoren speelt niet daar waar maar één enkele 10 kV-schakelinstallatie is opgesteld met twee transformatoren (wel speelt daar verzwaring van de 10 kV-installatie).

Bij de aanleg van nieuwe 20kV-netten zijn de regionale netbeheerders deels overgegaan tot het parallel bedrijfsvoeren van de HS/MS-transformatoren. Doordat de transformatiestap van HS-netvlak naar 20kV kleiner is dan naar 10kV zijn de kortsluitstromen daar per transformator lager. Ook heeft het nieuwe 20kV schakelmateriaal vaak een hogere kortsluitvastheid dan 10kV installaties. De nieuwe 20 kV-netten zouden qua kortsluitvastheid gedimensioneerd kunnen worden op het parallelbedrijf.

Bij aanleg van de nieuwe 10kV-netten zou op het eerste gezicht gedacht kunnen worden aan parallelbedrijf van transformatoren, maar de materie ligt gecompliceerder dan op de eerste blik gedacht daar deze netten vaak uitbreidingen zijn van bestaande netten (die dan ook helemaal opgewaardeerd zouden moeten worden) en de kortsluitstromen hoog zijn voor de betreffende netspanning. Veel duurdere schakelinstallaties, als deze al te verkrijgen zijn, en kabels zouden in dat geval in delen van het net gebruikt moeten gaan worden.

7.6 Maatschappelijke kosten-baten analyse parallelbedrijf nieuwe netten

Onderscheid is te maken tussen HS/MS-stations ontworpen voor slechts één schakelinstallatie én stations waar meerdere MS schakelinstallaties voorzien zijn. Het voordeel van een HS/MS-station met slechts één schakelinstallatie is dat er al een tweede transformator staat opgesteld en dat de HS- en MS-schakelaanleg behorende bij die reserve-transformator aanwezig is. Nadeel is dat bij een structureel netontwerp met kleine HS/MS stations (één MS-schakelinstallatie) er veel meer HS/MS-stations gebouwd moeten worden.

7.6.1 Meerkosten <u>nieuwe</u> HS/MS-stations met één MS-schakelinstallatie

Voor het gemak wordt aangenomen dat bij nieuwbouw zwaardere MS-schakelinstallaties weliswaar duurder zijn, maar dat kosten verwaarloosbaar zijn t.o.v. het gehele station. Dit geldt voor 20 kV, omdat met 10 kV de installaties beduidend kostbaarder worden, indien ze al leverbaar zijn. Beduidend betekent al gauw meer dan 0,5 M€.

Het aantal transformatoren blijft hetzelfde als in de situatie zonder parallelbedrijf, evenals het aantal HS- en MS-velden. Noch bouwkundig noch vergunning-technisch zijn grote problemen of extra kosten te verwachten.

Wat echter niet wordt meegeteld is dat er veel meer HS/MS stations gebouwd zullen moeten worden dan wanneer er stations met meerdere MS-schakelinstallaties worden gepland.

De kabels in het MS-net, inclusief de moffen en eindsluitingen, en de schakelapparatuur zullen bestand moeten zijn tegen de hogere kortsluitstromen en zijn daardoor duurder. Hier geldt eveneens dat met 20 kV enerzijds de kortsluitstromen lager zijn dan bij 10 kV, en anderzijds dat de te transporteren vermogens

hoger zijn, zodat er zowel minder als zwaarder schakelmaterieel in het distributienet zal worden toegepast. Daar waar met 10 kV-materieel de kosten beduidend zullen stijgen ligt dat met 20 kV gunstiger.

7.6.2 Meerkosten nieuwe HS/MS stations met meerdere MS-schakelinstallaties

Indien er meerdere MS-schakelinstallaties zijn voorzien, bijvoorbeeld twee, dan zal er één extra transformator opgesteld moeten worden. Parallel bedrijf vergt immers een extra (redundante) transformator per schakelinstallatie. Derhalve zijn er meer transformatoren nodig en meer HS-velden. De bouwkundige voorzieningen zijn uitgebreider en vergunning-technisch wordt snel de norm van 200 MVA overschreden.

Voor de distributienetten geldt hetzelfde als onder paragraaf 4.5.1 geschetst.

<u>Globale kosten nieuwe 20 kV-netten</u>

De extra kosten voor nieuwe 150/20 kV stations, gebaseerd op twee schakelinstallaties belopen:

Extra transformator	1,5 M€
Extra 150 kV-veld	1,5 M€
Bouwkundige voorzieningen	0,5 M€
Uitbreiding, zwaardere 20 kV	0,5 M€
Directe kosten	4,0 M€

Dit is exclusief eventuele extra eisen m.b.t. grondverwerving en vergunningen. Ook wordt aangenomen dat voor nieuwe 20 kV-netten de kosten voor de distributieaanleg niet noemenswaardig hoger zullen zijn.

7.6.3 Globale baten in leveringszekerheid bij nieuwe 20 kV-netten

Gebaseerd op de bijna acht energie-onderbrekingen per jaar ten gevolge van de transformatoren met bijbehorende velden, die voorkomen hadden kunnen worden wanneer (theoretisch) parallelbedrijf zou zijn toegepast worden de volgende baten verkregen. Per storing ontstaan gemiddeld 100.000 verbruikersminuten, over een gemiddelde storingsduur van vier of vijf minuten. Zodat per onderbreking 20.000 à 25.000 klanten getroffen worden. Jaarlijks betreft het zo'n 200.000 aangeslotenen in Nederland, waarmee de kans per klant eens per 40 jaar wordt (op acht miljoen aangeslotenen). Theoretisch opgedeeld in gelijke groepen van 25.000 aangeslotenen betekent dit dat elke groep gemiddeld eens in de 40 jaar een onderbreking ondergaat die met parallelbedrijf voorkomen had kunnen worden (acht groepen per jaar).

Een 150/20 kV-station met drie 80 MVA-transformatoren zal maximaal zo'n 100.000 klanten bedienen, fysiek aangesloten in twee groepen van 50.000 klanten. Om de onderbrekingsfrequentie te schatten verdelen we de 100.000 klanten in vier groepen van 25.000, zoals in de vorige alinea genoemd. Vier groepen van 25.000 geeft samen één onderbreking per 10 jaar oftewel tweemaal 25.000, zijnde de 50.000 fysiek aangeslotenen, per 20 jaar. Elke 20 jaar worden dus 50.000 klanten getroffen door een energie-onderbreking die voorkomen had kunnen worden met parallelbedrijf. De schade wordt voor gemengde gebruikers geschat op 11,25 €/kWh (SEO-rapport "MKBA netinvesteringen netuitlopers", mei 2009, in opdracht van TenneT, onder Tabel 3-4).

50.000 klanten (1,0 kW per aangeslotene), gedurende vijf minuten geeft derhalve een schade van 47 k€ per incident en met eens in de 20 jaar, een schade van 2,4 k€ per jaar. Gekapitaliseerd geeft dit baten van ruwweg 0,2 M€, veel lager dan de investering van 4,0 M€. De MKBA valt dus negatief uit.

7.7 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Verkorting van de huidige 10 minuten uitzondering brengt geen verbetering in leveringszekerheid

- 10 minuten uitzondering wordt vooral gebruikt voor omschakelen HS/MS-transformatoren bij een storing in een van de transformatoren. In praktijk is de omschakeltijd meestal korter dan 10 minuten typisch 2 minuten.
- Verkorting van de hersteltijd door een automatische omschakeling (pingpong) brengt weinig. Mogelijke winst in gemiddelde hersteltijd bij onderbrekingen wordt al gauw teniet gedaan door de extra benodigde omschakeltijd ten gevolge van een storing in het gecompliceerde "pingpong" systeem.
- Op basis van de huidige typische hersteltijden zou de uitzondering voor 10 minuten onderbreking teruggebracht kunnen worden naar bijvoorbeeld 5 minuten onderbreking. Aanpassing van de huidige 10 minuten grens naar een lagere waarde zal geen effect hebben op de leveringszekerheid maar kan helpen bij de politieke besluitvorming. Aan verkorting van de tijd schuilt wel een juridisch risico dat er claims komen indien de 5 minuten sporadisch[20] worden overschreden met één of enkele minuten.
- Gecompliceerde storingen (dubbele storingsoorzaak, common failures, etc.) vergen meer tijd dan genoemde paar minuten, regelmatig ook langer dan de tien minuten.

Overgaan naar parallel bedrijf in nieuwe aanleg

- Ontwerpen voor geheel nieuwe MS-netten zijn doorgaans gebaseerd op 20kV (of 23 dan wel 25 kV) en kunnen voor parallelle bedrijfsvoering uitgerust worden. Hiervoor zou dan, vanuit het oogpunt van een storing aan een HS/MS-transformator, de 10 minuten uitzondering in principe kunnen vervallen. Het laten vervallen van de 10 minuten uitzondering brengt echter ook een verzwaring van ontwerpeisen t.a.v. de HS-railsystemen en de aansluitvelden van de HS/MS-transformatoren. Deze gehele netopbouw aan de HS-zijde (meer stations en/of meer transformatoren) en aan de 20 kV-zijde (grotere kortsluitstromen dan wel meer netten met ieder minder opwekvermogen) zal beschouwd moeten worden voor een beslissing tot het laten vervallen van de 10 minuten regel in geheel nieuwe 20kV-netten.
- Bij nieuwe uitbreidingen op bestaande MS-netten wordt doorgebouwd op de bestaande 10kV netten, die niet ontworpen zijn voor het grotere kortsluitvermogen dat gepaard gaat met parallelbedrijf. Een besluit tot parallel bedrijfsvoeren in uitbreidingssituaties heeft ook een grootte impact op juist het bestaande deel. De omvang van de noodzakelijke aanpassingen is aanzienlijk, maar niet eenduidig te benoemen gezien de grote spreiding in de noodzakelijke aanpassingen van de bestaande situatie.
- Zoals hiervoor aangegeven zal parallelbedrijf in ongeveer de helft van de storingen soelaas bieden.
- Een maatschappelijke baten kosten analyse van de HS- en MS-netopbouw en stationsconfiguratie is een belangrijk onderdeel voor definitieve besluitvorming op dit onderdeel.
- Op basis van de gepresenteerde maatschappelijke kosten-baten afweging is het parallel bedrijfvoeren van HS/MS-transformatoren zelfs bij nieuwe aanleg niet verdedigbaar.
- De overweging om bij nieuwe 20kV aanleg parallel bedrijf te voeren is momenteel nog een op risico's gebaseerde afweging van iedere netbeheerder afzonderlijk.
- Nieuwe 20 kV-netten worden vaak aangelegd voor opweklocaties: windmolenparken, WKC's bij tuinders (die zelf geen redundantie toepassen)

Aanbevelingen

Een evenwichtige balans tussen leveringszekerheid en doelmatigheid leidt tot de conclusie dat de wettekst de ruimte zou moeten geven die de Netcode nu biedt. Het netontwerp voor hoogspanningsnetten met een spanningsniveau van 110 en 150 kV, inclusief de hiermee verbonden transformatoren naar netten met een lager spanningsniveau moet, bij het volledig in bedrijf zijn van het net, levering en afnamen kunnen

[20] sporadisch, want wet- en regelgeving gaan uit van een enkelvoudige storing

verzorgen onder handhaving van de enkelvoudige storingsreserve. Hierop moet een uitzondering mogelijk zijn als bij een enkelvoudige storing een stroomonderbreking niet langer duurt dan tien minuten en het getroffen vermogen lager is dan 100 MW.

8 Railsystemen en direct daarmee verbonden koppelvelden

8.1 Samenvatting en advies

Op grond van artikel 31, lid 12 van de E-wet moeten netbeheerders altijd enkelvoudige storingsreserve hanteren voor de railsystemen van de netten met een spanningsniveau van 110 kV en hoger. Een beperkte uitzondering hierop is mogelijk voor netten van 110/150 kV op grond van artikel 12, lid 13. Voor railsystemen van netten met een spanningsniveau van 220 kV en hoger staat de E-wet geen uitzonderingen toe op de enkelvoudige storingsreserve, ook niet tijdens onderhoud. De Netcode staat op dit punt wel een uitzonderingen toe. De reden hiervoor is dat railsystemen een significant kleinere kans hebben om uit te vallen dan bijvoorbeeld een willekeurig circuit.

Uitzonderingen in de Netcode:

- Het niet aanhouden van enkelvoudige storingsreserve tijdens bedrijfvoeren van railsystemen in netten met een spanning van 110kV en 150kV is toegestaan (Netcode, artikel 5.5.2.1, lid b);
- Voor netten met een spanning van 220kV en hoger moet wel enkelvoudige storingsreserve aangehouden worden op de railsystemen maar hoeft er geen rekening gehouden te worden met de uitval van het laatst in bedrijf zijnde railsysteem (Netcode, artikel 5.5.2.2).

De huidige in de Netcode benoemde uitzonderingen sluiten goed aan bij de bestaande praktijk maar hebben op dit moment geen grondslag in de Elektriciteitswet.

Als de netbeheerders aan de E-wet moeten voldoen dan betekent dat grote investeringen in meer redundantie in hoogspanningsstations:

- Alle railsystemen op 110/150kV stations moeten voorzien zijn van railbeveiliging om tijdens volledig in bedrijf zijnd net te functioneren met enkelvoudige storingsreserve. De railbeveiliging zorgt voor afschakeling van het gestoorde deel van het railsysteem terwijl de rest operationeel blijft.
- De in hoofdstuk 6 geadviseerde uitzondering van maximaal 100MW en maximaal 10 minuten kan niet meer en de eis tot enkelvoudige storingsreserve moet doorgetrokken worden tot de middenspanningsinstallaties
- Het huidige overwegend gebruikte dubbelrailsysteem dient te worden uitgebreid zodat ook tijdens onderhoud van het railsysteem, enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem behouden blijft

De geschatte investeringskosten van deze aanpassingen bedragen ongeveer 1,5 miljard euro voor aanpassing van de bestaande railsystemen en beveiligingen en nog eens ongeveer 260 miljoen euro voor het aanpassen van de aansluitvelden voor de HS/MS-transformatoren..

De vraag is of wettelijk moet worden geregeld dat netbeheerders te allen tijde (conform huidige E-wet), of wellicht alleen in bepaalde situaties (conform Netcode) enkelvoudige storingsreserve op railsystemen zouden moeten toepassen. Gekeken is wat op dit punt de praktijk is in andere Europese landen. Daaruit blijkt dat Europa een grote variëteit kent aan railconfiguraties in hoogspanningsstations. Universele of wettelijke ontwerpcriteria die de grote diversiteit in railconfiguraties kunnen verklaren zijn niet gevonden. Het lijkt erop dat per situatie wordt gekozen voor een meer of minder uitgebreid railsysteem. Voor uitgebreidere railconfiguraties (bijvoorbeeld een derde rail) lijkt te worden gekozen als het station cruciaal is om te voorzien in een hoge stroomvraag (belasting), als er grootschalige elektriciteitsproductie via een station wordt ontsloten of als het station een belangrijke schakel vormt in het grootschalige doortransport van energie.

In dit document is de situationele praktijk in Europese landen vertaald naar een algemene regel. Uitgangspunt is dat de transportzekerheid bij railstoringen niet in gevaar mag komen want anders kan (grensoverschrijdende) cascade uitval ontstaan. Indien de transportzekerheid gewaarborgd is, is bekeken in hoeverre extra investeringen in enkelvoudige storingsreserve doelmatig zijn voor de begrenzing van omvang en duur van een onderbreking van belasting (stroomvraag) en de maximale onderbreking van productie (stroomaanbod) als gevolg van een railstoring. Als de netbeheerder niet in staat is binnen deze begrenzing te blijven dan moet de netbeheerder investeren in uitgebreidere railconfiguraties. De omvang en duur van de toegestane onderbreking is bepaald op basis van een risicoafweging (zeer kleine kans, grote impact) en een maatschappelijke kosten - baten analyse.

Conclusies

De in de volgende paragrafen van dit hoofdstuk uitgewerkte analyse resulteert in onderstaande conclusies:

Transportzekerheid

- Om de transportzekerheid te waarborgen mag een onderbreking van grote (inter)nationale vermogenstransporten niet leiden tot cascade uitval in hetzelfde netvlak. Deze doortransporten vinden alleen plaats in netten met een spanning van 220kV en hoger. Een enkelvoudige railstoring mag niet leiden tot een dusdanige verstoring van de doortransporten dat er cascade uitval van belasting en productie op andere stations in het 220kV netvlak plaatsvindt.
- Bij een enkelvoudige railstoring mag niet zoveel productievermogen afvallen dat de transportzekerheid in gevaar komt. Het stellen van een expliciete bovengrens in relatie tot de aan te houden primaire en secundaire reserve is gewenst.
- Een aantal uitzonderlijke storingen in het koppelveld kan leiden tot afschakeling van beide daarmee verbonden railsystemen. Deze storingen hebben bij het gebruikelijke dubbel railsysteem configuratie hetzelfde effect als het verlies van het laatst in bedrijf zijnde railsysteem. De kans op deze storingen is kleiner dan de kans op een railstoring tijdens onderhoud. Vanuit de bescherming van de transportzekerheid gelden voor koppelvelden dezelfde voorwaarden voor uitzondering van enkelvoudige storingsreserve als voor railsystemen tijdens onderhoud.
- Voor railbeveiligingen wordt geconcludeerd dat de kans dat een gestoorde beveiliging onterecht meerdere railsystemen uitschakelt verwaarloosbaar is. De railbeveilingsrelais kunnen uitgezonderd worden van de eis tot enkelvoudige storingsreserve.

Doelmatigheid

- De grens van het maximaal toegestane productieverlies moet enerzijds niet te laag zijn zodat de markt niet geblokkeerd wordt in het aansluiten van grote, economisch rendabele eenheden anderzijds niet te hoog zijn om ondoelmatige operationele kosten te maken door het aanhouden van een te grote primaire en secundaire reserve. Op basis van de huidige situatie en marktontwikkeling wordt 1.500 MW gezien als een optimale waarde. Deze waarde moet wel in lagere regelgeving vast gelegd worden zodat deze te wijzigen is bij nieuwe marktontwikkelingen
- Op basis van een maatschappelijke kosten - baten afweging is investeren in uitgebreidere railsystemen met als doel de belasting in het onderliggende net te beschermen tijdens onderhoudssituaties, alleen rendabel voor onderbrekingen vanaf ongeveer 1.500 MW en 2 uur.
- De omvang van het getroffen gebied kan bij grote onderbroken belastingen (500 MW en meer) in de eerste twee uren sterk gereduceerd worden door het herconfigureren en opnieuw inschakel van ongestoorde netdelen.
- Op basis van een maatschappelijke kosten - baten afweging is extra investeren in enkelvoudige storingsreserve op railsystemen met als doel belasting in het onderliggende net te beschermen tijdens volledig in bedrijf zijnd net, alleen rendabel bij een belasting van minimaal 100MW.

- Op basis van de afwegingen in hoofdstuk 6 is het niet doelmatig alle onderbrekingen te voorkomen en wordt een onderbreking van maximaal 100 MW en maximaal 10 minuten altijd toegestaan voor het 110/150kV net.
- In Nederland is een onderbroken belasting van maximaal 100 MW en maximaal 6 uur geaccepteerd tijdens onderhoudsituaties. Dit is vastgelegd in de huidige elektriciteitswet artikel 31, lid 13.

<u>Best practices</u>
Best-practices uit de vergelijkbare Europese landen laten zien dat voor belangrijke stations de enkelvoudige storingsreserve tijdens onderhoud is gewaarborgd.

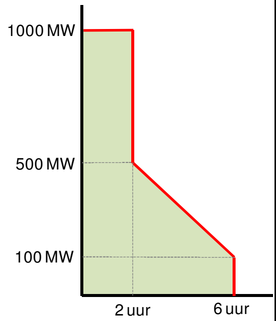
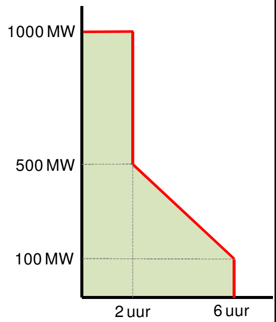
<u>Bestaande versus nieuwe situaties</u>
- Het proactief wijzigen van bestaande stations die niet voldoen aan de voorgestelde voorwaarden voor uitzondering van enkelvoudige storingsreserve is onwenselijk vanuit het oogpunt van risico voor de leveringszekerheid. Aanpassingen aan bestaande railsystemen grijpen in in het hart van de elektrische installatie waar een storing grote gevolgen heeft. Afhankelijk van de benodigde aanpassingen aan het railsystemen is het risico dat gelopen wordt tijden de ombouw van de bestaande situatie vergelijkbaar met het totale risico dat gelopen wordt tijdens normaal onderhoud over de levensduur van de installatie. Het moge duidelijk zijn dat railsystemen die vanuit de bedreiging van de transportzekerheid aangepast moeten worden niet altijd zomaar aangepast kunnen worden. Indien de planologische ruimte op de bestaande stationslocatie daarvoor te klein en niet uitgebreid kan worden zal er ultimo een nieuw station gebouwd moeten worden op een andere locatie en de verbindingen daar naar toe aangebracht worden.
- Ook de maatschappelijke kosten - baten afweging geeft aan dat proactieve ombouw van de bestaande situaties niet doelmatig is
- Proactieve ombouw wordt dan ook alleen geadviseerd in die situaties waarbij transportzekerheid in gevaar komt.

<u>Investeringskosten bestaande railsystemen:</u>
Op basis van een eerste inventarisatie moeten 31 bestaande railsystemen in het 110/150kV net voorzien worden van railbeveiliging zodat de railsystemen zelf kunnen functioneren met enkelvoudige storingsreserve tijdens normaal bedrijf (investering voor aanpassing bedraagt ongeveer 29 miljoen euro)
Op basis van een grove expert analyse zouden in de 220/380kV netten zeven railsystemen en in de 110/150kV netten drie railsystemen aangepast moeten worden om te voldoen aan enkelvoudige storingsreserve tijdens onderhoud (investering voor aanpassing bedraagt ongeveer 165 miljoen euro).

Aanbevelingen
Op basis van de in dit hoofdstuk uitgewerkte conclusies en bijbehorende afwegingen wordt geadviseerd om:

A. Railsystemen, bijbehorende koppelvelden en direct aan het railsysteem gerelateerde grensoverschrijdende beveiligingen in de Elektriciteitswet onder voorwaarden uit te zonderen van de eis tot enkelvoudige storingsreserve.
B. In lagere regelgeving de voorwaarden vermeld in onderstaande tabel 4 vast te leggen als de voorwaarden voor uitzondering van het railsysteem, koppelvelden en bijbehorende beveiligingen op de eis tot enkelvoudige storingsreserve. Aan alle voorwaarden moet voldaan worden.
C. In de Elektriciteitswet 1998 een overgangsregeling voor bestaande situaties op te nemen.
D. De overgangstermijn voor bestaande situaties in lagere wet- en regelgeving verder uit te werken.

Tabel 4: geadviseerde voorwaarden voor uitzondering railsystemen op enkelvoudige storingsreserve

<table>
<tr><th colspan="5">Voorwaarden enkelvoudige storingsreserve bij nieuwe railsystemen, koppelvelden en beveiliging</th></tr>
<tr><th colspan="2">Netvlak</th><th>Doortransport</th><th>Productie uitval</th><th>Belasting uitval[21]</th></tr>
<tr><td rowspan="2">110kV
150kV</td><td>Volledig in bedrijf</td><td>Niet van toepassing</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet tot een onderbreking groter dan 1.500 MW productie kan leiden.</td><td>• Uitgezonderd van de eis te functioneren met enkelvoudige storingsreserve indien de belasting in het onderliggende net kleiner is dan 100MW.
• Bij een enkelvoudige storing aan het railsysteem is een onderbreking van belasting in het onderliggende net toegestaan mits de onderbroken aansluitingen kunnen worden omgeschakeld naar het nog ongestoorde railsysteem.</td></tr>
<tr><td>Onderhoud</td><td>Niet van toepassing</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet tot een onderbreking groter dan 1.500 MW productie kan leiden.</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet kan leiden tot een onderbreking groter dan weergegeven maximale vermogen-tijd curve.

</td></tr>
<tr><td rowspan="2">220kV
en hoger</td><td>Volledig in bedrijf</td><td>Enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem</td><td>Enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem[22]</td><td>Enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem</td></tr>
<tr><td>Onderhoud</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet kan leiden tot cascade onderbreking van belasting of productie op andere lokaties in de netten met een spanning van 220kV en hoger.</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet tot een onderbreking groter dan 1.500 MW productie kan leiden.</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet kan leiden tot een onderbreking groter dan weergegeven maximale vermogen-tijd curve.

</td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="5">Koppelvelden
Direct met de railsystemen verbonden koppelvelden zijn uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve gedurende normaal bedrijf en onderhoud op voorwaarde dat bij een enkelvoudige storing in het koppelveld voldaan wordt aan de eisen die gesteld worden aan de bijbehorende railsystemen gedurende onderhoud situaties.</td></tr>
<tr><td colspan="5">Railbeveiliging
Railbeveiliging is uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve.</td></tr>
</table>

21 Bij belasting uitval wordt gekeken naar de belasting in het onderliggende publieke net. De belasting van enkelvoudig aangeslotenen afnemers in netten met een spanning van 110kV en hoger, worden in deze beschouwing niet meegenomen daar de afnemer zelf kiest af te zien van enkelvoudige storingsreserve.

22 Indien de aangesloten producent voor een enkelvoudige aansluiting heeft gekozen kan deze aansluiting bij een railstoring natuurlijk onderbroken raken.

8.2 Inleiding

In de Elektriciteitswet 1998, artikel 31, lid 12 wordt gesteld dat netten met een spanningsniveau van 110kV en hoger ontworpen dienen te zijn met enkelvoudige storingsreserve en ook als zodanig bedreven moeten worden of te wel "functioneren". Waarbij voor het bedrijfvoeren of functioneren vervolgens twee situaties onderscheiden worden:

1. "Volledig in bedrijf zijnd net" (normale situatie met alle onderdelen in bedrijf);
2. "Tijdens onderhoud" (situatie waarin een aantal onderdelen uit bedrijf zijn voor regulier onderhoud).

Voor het bedrijfvoeren "tijdens onderhoud" maakt de Elektriciteitswet 1998 vervolgens in artikel 31, lid 13 onderscheid tussen de netten met een spanningsniveau van 220kV en hoger en netten met een spanningsniveau van 110kV en 150kV. Voor de netten met een spanning van 110kV en 150kV definieert de Elektriciteitswet 1998 in artikel 31, lid 13 een algemene uitzondering op de enkelvoudige storingsreserve mits de daarbij mogelijk optredende onderbreking kleiner blijft dan 100MW en 6 uur.

De Netcode maakt via artikelen 5.5.2.1 en 5.5.2.2 echter nog verdere uitzonderingen op het aanhouden van de enkelvoudige storingsreserve tijdens het functioneren. Deze uitzonderingen betreffen onder andere de railsystemen:

- Het niet aanhouden van enkelvoudige storingsreserve tijdens bedrijfvoeren van railsystemen in netten met een spanning van 110kV en 150kV is toegestaan (artikel 5.5.2.1, lid b);
- Voor netten met een spanning van 220kV en hoger moet wel enkelvoudige storingsreserve aangehouden worden op de railsystemen maar hoeft er geen rekening gehouden te worden met de uitval van het laatst in bedrijf zijnde railsysteem (artikel 5.5.2.2).

Met bovenstaande bepalingen geeft de Netcode de netbeheerder de mogelijkheid een doelmatige invulling van de leveringszekerheid te realiseren zoals gevraagd in artikel 16, lid 1b van de Elektriciteitswet 1998 en artikel 13, lid 2 van de MR Tariefstructuren en Voorwaarden elektriciteit.

De Netcode sluit daarmee goed aan op de feitelijke praktijk van bedrijfvoeren van railsystemen voor de netten met een spanning van 110kV en hoger:

Tijdens volledig in bedrijf zijnd net

- 220kV en 380kV: enkelvoudige storingsreserve wordt altijd aangehouden;
- 110kV en 150kV: enkelvoudige storingsreserve wordt alleen aangehouden als dat in verhouding staat tot het belang van het station.

Tijdens onderhoud

- 220kV en 380kV: enkelvoudige storingsreserve wordt alleen aangehouden als dat van belang is voor de systeemstabiliteit;
- 110kV en 150kV: enkelvoudige storingsreserve wordt niet aangehouden.

De aparte positie die railsystemen in de praktijk innemen voor wat betreft de enkelvoudige storingsreserve, vindt zijn grondslag in de significant kleinere kans op storingen aan railsystemen in vergelijking tot de kans op storingen aan een willekeurig circuit.

In dit hoofdstuk zal de uitzonderingspositie van railsystemen met betrekking tot de enkelvoudige storingsreserve, geherevalueerd worden.

Aan het einde van dit hoofdstuk zal ook worden ingegaan op de aan de railsystemen gelieerde onderdelen als koppelvelden en railbeveiliging. Deze onderdelen kunnen bij een enkelvoudige storing meerdere railsystemen laten falen hetgeen een aparte risico afweging behoeft.

Nadat de conclusies en aanbevelingen voor de kwaliteitscriteria van nieuw te bouwen railsystemen en stations zijn bepaald, worden deze op de huidige in bedrijf zijnde railsystemen gelegd. Het vaststellen van nieuwe kwaliteitscriteria om het toekomstige belang van de elektriciteitsvoorziening voldoende te borgen kan leiden tot situaties waar keuzen, gemaakt in het verleden, niet meer voldoen. In het laatste onderdeel van het hoofdstuk worden aanbevelingen gedaan hoe hier mee om te gaan.

8.3 Huidige leveringszekerheid

Railsystemen zijn de elektrische knooppunten in het elektriciteitsnet en hebben daarmee een belangrijke functie in het verdelen van het transport van elektrische energie. Bij netten met een spanning van 110kV en hoger kunnen binnen deze functie drie, in principe losstaande, aspecten onderscheiden worden:

1. Het faciliteren van doortransport van grote (inter)nationale energiestromen (alleen op 220/380kV netvlak);
2. Het aankoppelen van productie-eenheden en grote eindgebruikers;
3. Het beleveren van het onderliggende net voor verdere verdeling van elektrische energie richting eindgebruikers.

Bovenstaande functies kunnen worden bedreigd door een storing aan het railsysteem. Op basis van registraties in de landelijke Nestor database van 1998-2011, waarin alle storingsregistraties van de deelnemende netbeheerders zijn opgenomen, zijn de volgende kansen op een railstoring afgeleid:

		Bedrijfstoestand	
		Volledig beschikbaar	**Onderhoud**[23]
HS-netvlak	**Per station**	Eens in de 230 jaar	Eens per 580 jaar
	Heel NL	Eens per jaar	Eens per 8 jaar (>100MW)
EHS-netvlak	**Per station**	Geen onderbreking (N-1)	Eens per 510 jaar
	Heel NL	Geen onderbreking (N-1)	Eens per 14 jaar

Bovenstaande tabel maakt zeer bewust onderscheid tussen een bedrijfssituatie met volledig beschikbaar net en een bedrijfssituatie tijdens onderhoud. Zoals in de navolgende paragrafen duidelijk zal worden is een net in onderhoudssituatie minder robuust voor de gevolgen van een railstoring. De gemiddelde kans dat er tijdens onderhoud een storing optreed is echter kleiner dan bij een volledig beschikbaar net om de eenvoudige reden dat er op een bepaalde locatie gemiddeld in nog geen 4% van het jaar sprake is van een onderhoudsituatie.

8.3.1 Doortransport op 220kV en 380kV

Het doortransport op 220kV en 380kV wordt in de situatie van een volledig beschikbaar net niet bedreigd door een railstoring daar in de bedrijfsvoering van de 220kV en 380kV netten enkelvoudige storingsreserve aangehouden wordt.

In onderhoudsituaties wordt geen rekening gehouden met de uitval van het laatst in bedrijf zijnde railsysteem op een 220/380kV station. Vrijwel alle 220kV en 380kV stations in Nederland zijn uitgerust met

[23] Daar een railstoring tijdens onderhoud zelden is opgetreden, is de beschikbare data voor kansbepaling zeer beperkt. De gepresenteerde kans kent dan ook een zekere onnauwkeurigheid.

een zogenaamd dubbel railsysteem hetgeen er toe leidt dat er bij een bepaalde onderhoudsactiviteiten nog maar één railsysteem in bedrijf is. Het gehele station of knooppunt kan dan uitvallen bij een storing aan dit laatst in bedrijfszijnde railsysteem.

In de Nestor database zijn vijf storingen aan 220kV en 380kV railsystemen geregistreerd. Geen van deze storingen hebben geleid tot problemen met het doortransport. Belangrijke reden hiervoor is gelegen in de opbouw van het Nederlandse 220kV en 380kV net met zijn geografisch gescheiden ringstructuren. Indien in een ring een knooppunt uitvalt blijft het doortransport in veel gevallen gewaarborgd via andere delen van de ring.

Kijkend naar de toekomst tekenen zich groeiende pieken af in de internationale vermogensstromen als gevolg van grootschalige duurzame opwek. Ook is er de trend waarbij de nieuwe grote productie-eenheden zich geconcentreerd gaan vestigen aan de randen van het netwerk. Deze trend wordt door zowel bedrijfseconomische motieven als beleidkaders zoals het SEV gestimuleerd. Kijkende naar de toekomst ontstaat dan ook het beeld dat de doortransportfunctie van de 220kV en 380kV stations zwaarder en belangrijker wordt. Bij nieuw te bouwen railsystemen wordt dan ook wel degelijk rekening gehouden met de doortransport functie. Dit kan leiden tot de keus voor meer uitgebreide railsystemen indien dat nodig is voor de transportzekerheid. Uitval van zeer grote doortransporten (>3000 MW) kan immers leiden tot grensoverschrijdende onderbrekingen in het 380kV net.

8.3.2 Aankoppeling van grote productie-eenheden en eindgebruikers

Het railsysteem is ook het punt waarop de grote aansluitingen met het net verbonden worden. Deze aansluitingen kunnen van grootschalige productie-eenheden zijn of zeer grootschalige industriële afnemers.

Zoals in hoofdstuk 10 verder uitgediept is, zijn deze "particuliere" aansluitingen zelden voorzien van enkelvoudige storingsreserve hetgeen een bewuste keus is van de aangeslotene. Een keus die hij maakt op bedrijfseconomische gronden. Hij weet dat zijn aansluiting onderbroken raakt bij een storing in deze aansluiting of een storing in het railsysteem van de netbeheerder, in dit geval TenneT. Voor zijn productieproces weegt het risico van deze onverwachte onderbreking echter niet op tegen de investeringen die hij moet doen om enkelvoudige storingsreserve in zijn aansluiting te realiseren.

Verschil tussen een storing in de aansluiting en een storing aan een railsysteem is dat bij de eerste slechts één aansluiting onderbroken kan raken terwijl bij een storing op het railsysteem alle daarmee verbonden aansluitingen onderbroken kunnen raken. Dit heeft in het geval van aansluitingen met belasting weinig nettechnische gevolgen maar het kan grote nettechnische gevolgen hebben indien de onderbroken aansluitingen productie-eenheden bevatten. Door het plotseling wegvallen van grote hoeveelheden productie kunnen net-instabiliteiten ontstaan die grote grensoverschrijdende onderbrekingen kunnen veroorzaken.

8.3.3 Belevering van onderliggende netten

Het effect van een enkele railstoring op de belevering van de onderliggende netten kan enorm variëren van geen enkel effect tot de uitval van bijna een gehele provincie met zo'n 750.000 eindgebruikers. Het effect dat kan optreden is afhankelijk van factoren als:

- De layout van het railsysteem van het betreffende station;
- De opbouw en grote van het onderliggende net;
- De bedrijfsvoeringsituatie.

Het mogelijke effect laat zicht het makkelijkst classificeren via het aantal MW belasting dat onderbroken kan raken. Hierbij kan het aantal MW indicatief vergeleken worden met:

- 1 MW: 750 aansluitingen
- 10 MW: een dorp
- 100 MW: een kleine stad
- 500 MW: een grote stad met buitengebieden
- 800 - 3.000 MW: een provincie
- Onderbrekingen vanaf ongeveer 2.500 MW kunnen een cascade impact hebben tot buiten Nederland
- Nederland als geheel heeft een totale belasting van ongeveer 15.000 MW op drukke uren

Zekerheid belevering tijdens situaties met een volledig in bedrijf zijnd net

De belevering van onderliggende netten wordt niet geraakt door een storing aan een railsysteem in het 220/380kV netwerk. In de bedrijfsvoering van deze netten wordt bij volledig in bedrijf zijnd net immers enkelvoudige storingsreserve aangehouden op de railsystemen.

Op de 110/150kV railsystemen wordt sinds jaar en dag geen enkelvoudige storingsreserve aangehouden en heeft een railstoring wel degelijk effect op de belevering van de onderliggende netten. Het effect kan in twee categorieën opgedeeld worden:

1. Stations met railbeveiliging waar bij een railstoring slechts één railsysteem en daarmee verbonden HS/MS-transformatoren uitvalt ;
2. Stations zonder railbeveiliging waar bij een railstoring het gehele station en alle daarmee verbonden HS/MS transformatoren uitvalt.

De genoemde railbeveiliging is een geavanceerde beveiliging die er voor zorgt dat twee of meer gekoppelde railsystemen zich bij een storing niet als één elektrische eenheid gedragen maar opgesplitst raken in individuele systemen. Hierdoor wordt alleen het gedeelte van het railsysteem dat daadwerkelijk gestoord is afgeschakeld en blijven de overige delen in bedrijf.
Het wel of niet aanwezig zijn van een railbeveiliging beïnvloed beide effecten die een onderbreking van de voeding naar het onderliggende net karakteriseert:

- De omvang (het aantal MW dat onderbroken raakt) wordt ruwweg gehalveerd door de aanwezigheid van railbeveiliging
- De herstelduur (tijd waarin de voeding naar de onderliggende netten hersteld is) gaat door de aanwezigheid van railbeveiliging terug van enkele uren tot een klein uur.

De invloed van de railbeveiliging op de hersteldduur is gelegen in het feit dat een gedeelte van het station nog van spanning is voorzien. Dit maakt het mogelijk om in relatief korte tijd vanuit de bedrijfsvoeringcentra de voeding te herstellen. Indien er geen spanning meer in het station is zullen er eerst storingsmedewerkers ter plaatse moeten gaan om te onderzoeken welke delen van het station ongestoord zijn en weer onder spanning gebracht kunnen worden.

Op basis van registraties in de landelijke Nestor database van 1998-2011, waarin alle storingsregistraties van de deelnemende netbeheerders zijn opgenomen, kan het gemiddelde effect van een railstoring op de voeding van het onderliggende net afgeleid worden. Onderstaande Tabel 5 combineert:

1. de omvang van de onderbreking;
2. de impact op de landelijke jaarlijkse uitvalduur;
3. de kans op basis van het aantal stations in dat effectgebied.

Tabel 5: Overzicht effect range van onderbrekingen t.g.v. een railstoring onder normaal bedrijf

	Gemiddeld effect railstoringen 110/150kV net op belevering onderliggende netten				
	Onderbroken vermogen	**Onderbroken aansluitingen**	**Impact jaarlijkse uitvalduur**	**Aantal stations in effectgebied**	**Huidige kans onderbreking NL**
HS-netvlak	< 100MW	< 75.000	16 sec[24] (3,9% alle HS-minuten)	218	Eens per jaar
	100 – 250MW	75.000 – 190.000		73	Eens per 3 jaar
EHS-netvlak	Geen onderbreking, enkelvoudige storingsreserve railsystemen op EHS-netvlak bij normaal bedrijf				

Op basis van Tabel 5 is gemiddeld 16 seconden van de grofweg 30 minuten jaarlijkse uitvalduur in Nederland, toe te wijzen aan gestoorde railsystemen in de 110kV en 150kV netten.

Leveringszekerheid tijdens reguliere onderhoudsituaties

Een railsysteem moet periodiek uit bedrijf genomen worden voor onderhoud aan het railsysteem of de daarmee gekoppelde componenten. Bij de in Nederland en in Europa gebruikelijk voorkomende dubbel railsysteem configuratie is er tijdens deze onderhoudsituatie nog maar één railsysteem in bedrijf. Uitval van dit laatste railsysteem als gevolg van een storing leidt dan vrijwel altijd tot een onderbreking in de belevering naar de onderliggende netten. Doordat deskundigen echter reeds aan het werk zijn op het betreffende station, vindt herstel in het algemeen relatief snel plaats, binnen 2 uur. Vaak kunnen de transformatoren binnen 60-120 minuten weer volledig in bedrijf zijn en kan het onderliggende net weer opgebouwd worden.

Bij uitval van het tweede railsysteem tijdens onderhoudsituaties is voor de 220/380kV stations de omvang van de onderbreking in de belevering van het onderliggende net moeilijk eenduidig te duiden. Het effect is zeer afhankelijk van de configuratie van het onderliggende deelnet op 110/150kV. Als dit deelnet meerdere invoedingspunten vanuit het 220/380kV net bevat of als er op het moment van de storing voldoende opwekking is in het 110/150kV deelnet, kan er geen enkele onderbreking zijn bij uitval van dit laatste railsysteem. In ongunstige omstandigheden echter, kan de uitval van een 220/380kV station in sommige gevallen zelfs leiden tot een onderbreking ter grote van bijna een gehele provincie.

Dezelfde problematiek speelt voor de 110/150kV stations die, via transformatoren, direct gekoppeld zijn aan de 220/380kV stations. Deze direct gekoppelde stations zijn een centraal knooppunt in het betreffende 110/150kV deelnet en hebben bij volledige uitval een vergelijkbaar effect op de belevering van de onderliggende netten als het direct gekoppelde 220/380kV station.

Voor de overige 110/150kV stations is de omvang van de onderbreking wel eenduidiger te bepalen daar deze gekoppeld is aan het vermogen dat via de HS/MS-transformatoren aan de onderliggende netten wordt geleverd.

Om toch een realistisch beeld te schetsen van het worst case risico dat samenhangt met de huidige populatie stations in de netten met een spanning van 110kV en hoger, zijn de 220/380kV stations en daarmee direct gekoppelde 110/150kV stations onderworpen aan een grove expert analyse[25] op basis van een tweetal scenario's:

---

24 16 seconden is het gemiddelde over 8 miljoen aangeslotenen. De daadwerkelijk getroffen aangeslotenen zijn natuurlijk langer onderbroken, afhankelijk van de herstelmogelijkheden kan de onderbrekingsduur oplopen tot enkele uren.

25 Door in toekomstige Kwaliteit en Capaciteit Documenten te gaan toetsen op uitval van het 2^{e} railsysteem van 220/380kV stations en de direct daarmee gekoppelde 110/150kV stations zal via een uitgebreide netanalyse nauwkeuriger inzicht ontstaan.

A. Belasting in 2013 en geen opwek in het 110/150kV deelnet. Deze situatie gaat er vanuit dat de volledige belasting gevoed moet worden vanuit de 220/380kV stations;
B. Belasting in 2013 en gereduceerde opwek in het 110/150kV deelnet. Deze situatie wordt als reële ´worst case´ geacht voor de aankomende 10-20 jaar.

Voor de bepaling van het risico op de leveringszekerheid dat Nederland in de toekomst zal lopen, wordt uitgegaan van scenario A voor de 220/380kV stations en direct daarmee gekoppelde 110/150kV stations. Vervolgens wordt, op basis van de 2013 belasting in het onderliggende middenspanningsnet, de analyse aangevuld met het risico van de overige 110/150kV stations. Scenario A wordt als uitgangspunt gekozen daar de huidige trend in groei van internationale duurzame opwekking en het verschuiven van grootschalige opwekking naar de randen het Nederlandse 220/380kV net er toe gaat leiden dat in de toekomst de 220/380kV stations vaker de volledige belasting van een deelgebied moeten gaan verzorgen.

Op basis van bovenstaande aannamen en de geregistreerde storingen in de landelijke Nestor database van 1998-2011 is het overzicht van Tabel 6 samengesteld.

Tabel 6: Overzicht effect range van onderbrekingen t.g.v. een railstoring tijdens onderhoud

	Gemiddelde onderbreking belasting t.g.v. railstoringen in 110kV en hoger tijdens onderhoud					
	Maximale impact enkele onderbreking			Gemiddelde impact jaarlijkse uitvalduur	Aantal stations in effectgebied	Huidige kans[26] onderbreking NL
	Onderbroken vermogen	Onderbroken aansluitingen	Bijdrage jaarlijkse uitvalduur			
HS-netvlak	< 100MW	< 75.000	< 65 sec	22 sec (5,6% alle HS-minuten)	218	Eens per 2-3 jaar
	100 – 250MW	75.000 – 190.000	1 – 3 min		63	Eens per 8-9 jaar
	251-500MW	190.000 – 375.000	3 - 5,5 min		6	Eens per 90 jaar
	501-1000MW	375.000 – 750.000	5,5 – 11 min		2	Eens per 270 jaar
	> 1000MW	>750.000	> 11 min		2	Eens per 270 jaar
EHS-netvlak	100 - 500MW	190.000 – 375.000	< 5,5 min	Onderbreking nog niet opgetreden	8	Eens per 70 jaar
	501 – 1.000MW	375.000 – 750.000	5,5 – 11 min		4	Eens per 135 jaar
	> 1.000MW	> 750.000	> 11 min		2[27]	Eens per 270 jaar

Op basis van Tabel 6 is gemiddeld 22 seconden van de grofweg 30 minuten jaarlijkse uitvalduur in Nederland, toe te wijzen aan gestoorde railsystemen tijdens onderhoudssituaties in netten met een spanning van 110kV en hoger. Hierbij wordt opgemerkt dat er nog geen onderbreking heeft plaatsgevonden als gevolg van een storing aan een railsysteem in het 220/380kV net.

Tabel 6 maakt verder inzichtelijk dat hoewel de kans op uitval van een railsysteem tijdens onderhoud klein tot zeer klein is, de getroffen belasting omvangrijk tot zeer omvangrijk kan zijn bij sommige stations.

[26] Daar een railstoring tijdens onderhoud zelden is opgetreden, is de beschikbare data voor kansbepaling zeer beperkt. De gepresenteerde kans kent dan ook een zekere onnauwkeurigheid.

[27] Hierbij is rekening gehouden met de mitigeren invloed als gevolg van de realisatie van de RCR-projecten RaN380, ZW380 en station Breukelen380.

8.4 Alternatieven in het ontwerp van railsystemen

Bij het ontwerpen van alternatieve railsystemen dient gekeken te worden naar:

1) het functioneren van het railsysteem tijdens volledig in bedrijf zijnd net;
2) het functioneren van het railsysteem tijdens onderhoud

8.4.1 Functioneren tijdens volledig in bedrijf zijnd net

Indien het railsysteem tijdens volledig in bedrijf zijnd net enkelvoudige storingsreserve moet bevatten, zal het aanwezige railsysteem of railsystemen bij een storing in meerdere elektrisch functionerende delen uiteen moeten vallen waarbij alleen het gestoorde deel van het railsysteem uitgeschakeld wordt. Om dit effect te bereiken moet:

- het station meerdere railsystemen of een railsysteem met meerdere secties hebben;
- de railsystemen of secties moeten aan elkaar gekoppeld zijn middels zogenaamde koppelvelden waarin een vermogensschakelaar is opgenomen;
- er een railbeveiliging zijn die elk railsysteem of sectie afzonderlijk monitoort op storingen en de vermogensschakelaars in de koppelvelden aanstuurt indien er een storing ontstaat;
- Elke aansluiting ontworpen zijn met enkelvoudige storingsreserve en ook met enkelvoudige storingsreserve functioneren.

In bovenstaande voorwaarden worden de aansluitingen expliciet benoemd zodat duidelijk is dat hoewel het railsysteem uitgerust is met enkelvoudige storingsreserve, er toch een onderbreking kan ontstaan in die aansluitingen die niet ontworpen zijn en functioneren met enkelvoudige storingsreserve. Met verwijzing naar de hoofdstukken 6 en 10 van dit rapport kan geconcludeerd worden dat:

- De meeste "particuliere" aansluitingen volgens keus van de aangeslotene geen enkelvoudige storingsreserve hebben en dus bij een railstoring afgeschakeld kunnen worden ondanks de enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem;
- De aansluitingen van de regionale netbeheerders op het 110/150kV net niet functioneren met enkelvoudige storingsreserve maar wel zo ontworpen zijn dat binnen 10 minuten omgeschakeld kunnen worden naar de nog ongestoorde delen van het railsysteem. Hierdoor is de onderbreking slechts van korte duur.

Bestaande situatie

Op de bestaande 220/380kV stations wordt er tijdens volledig in bedrijf zijnd net enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem aangehouden. Tevens functioneren de aansluitingen naar de onderliggende 110/150kV netten met enkelvoudige storingsreserve.

De 110/150kV stations die direct gekoppeld zijn met de 220/380kV stations zijn ook uitgerust met enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem tijdens volledig in bedrijf zijnd net.

Op de meeste overige 110/150kV stations is er weliswaar een meervoudig railsysteem en bijbehorend koppelveld maar ontbreekt de railbeveiliging. De railsystemen op deze stations zullen dan bij een storing ook niet in meerdere delen uiteenvallen maar het gehele station zal worden afgeschakeld. Door het achteraf aanbrengen van een railbeveiliging zullen deze stations met een relatief beperkte ingreep ook voorzien zijn van enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem.

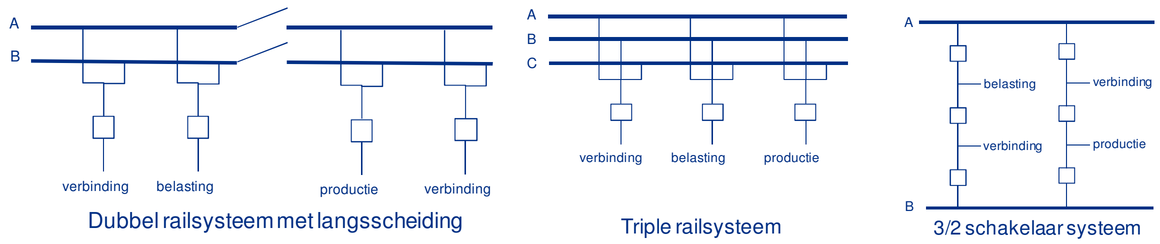
8.4.2 Functioneren tijdens onderhoud

Tijdens onderhoud zal een deel van de aanwezige railsystemen uit bedrijf genomen moeten worden. Om hierbij nog te voldoen aan enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem, zullen de nog in bedrijf zijnde railsystemen of secties ook moeten voldoen aan de voorwaarden die gesteld zijn in hoofdstuk 8.4.1. Met de in Nederland en in Europa veelvuldig gebruikte configuratie van een dubbel railsysteem wordt niet aan

deze voorwaarden voldaan. Immers bij het uit bedrijf nemen van één railsysteem is er nog maar één railsysteem over.

Voor enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem tijdens onderhoud is een uitgebreider railsysteem nodig dan een dubbel railsysteem configuratie. Mogelijke configuraties zijn:

- Dubbel railsysteem met langsscheiding die geopend is ten tijde van onderhoud;
- Triple railsysteem zodat er tijdens onderhoud nog twee railsystemen in bedrijf zijn;
- 3/2 schakelaar configuratie waarbij de aansluitingen (productie of belasting) gekoppeld blijven aan een verbinding naar een ander station indien beide railsystemen uitvallen.



Figuur 13: voorbeelden railsysteem configuraties

Welke railsysteem configuratie gekozen wordt hangt af van het belang van de verschillende functies van het station. Zo is een 3/2 schakelaar configuratie een veel gebruikte configuratie als er veel productie op het station is aangesloten maar is een triple railsysteem weer geschikter als doortransport de overheersende functie van het station is.

Duidelijk is dat alle alternatieve railsysteem configuraties meer geld kosten en vaak ook meer ruimte innemen dan een dubbelrailsysteem. Mede vanuit planologische oogpunt moet het gebruik van deze uitgebreidere railsysteem configuraties zeer goed gemotiveerd zijn.

Bestaande situatie

De Nederlandse stations met een spanning van 110kV en hoger kennen hoofdzakelijk een dubbel railsysteem configuratie.

Een aantal 220/380kV stations waarop veel grootschalige productie is aangeslotenen kent een 3/2 schakelaar configuratie. Het verlies van het laatste railsysteem bij een dubbel railsysteem configuratie zou op deze stations een te groot productieverlies veroorzaken en daarmee de transportzekerheid bedreigen. Onderbrekingen tot buiten het Nederlandse 220/380kV net zouden kunnen ontstaan. De 220/380kV stations waar dit speelt zijn allen uitgerust meet een 3/2 of vergelijkbare railconfiguratie waardoor de transportzekerheid is geborgd.

Een aantal van de 110/150kV stations die direct gekoppeld zijn met de 220/380kV stations kennen een triple railsysteem configuratie. Deze stations zijn ontworpen voordat het 220/380kV net voldoende ontwikkeld was en waren destijds de belangrijke stations waarop grootschalige productie werd aangesloten en de energie verdeeld werd over het 110/150kV net van de provincie.

Eventueel aanpassen van de bestaande railsysteem configuratie wordt sterk afgeraden omdat het risico op storingen van deze ombouw vaak groter is dan de winst die behaald kan worden met een aangepaste railsysteemconfiguratie. Men gaat bij de ombouw immers het hart van het station en het knooppunt in de elektrische energievoorziening noodgedwongen in een storingsgevoelige situatie brengen tijdens de ombouw.

Daarnaast kan de ombouw van een railsysteemconfiguratie een grote planologische impact hebben omdat het bestaande station in de bestaande bebouwde omgeving groter moet worden.

8.5 MKBA enkelvoudige storingsreserve railsystemen

Deze paragraaf gebruikt een maatschappelijke kosten - baten analyse (MKBA) voor de afweging of enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem geëist moet worden als ontwerpcriterium. In de MKBA worden de maatschappelijke baten uitgedrukt als vermeden kosten van een onderbreking van de energielevering naar onderliggende netten. Deze vermeden kosten worden weergegeven als risicokosten over de levensduur van het railsysteem via de formule:

*Risicokosten over levensduur = omvang onderbreking * maatschappelijke kosten per kWh*
** gemiddelde jaarlijkse kans op onderbreking * levensduur.*

De maatschappelijke kosten van een onderbreking in 2013 zijn bepaald op basis van het voor TenneT in 2009 uitgevoerde SEO onderzoek[28] en gecorrigeerd voor een jaarlijkse inflatie van 1,5%. Dit resulteert in een bedrag van 128,2 miljoen euro per uur voor heel Nederland of omgerekend naar vermogen: 11,25 €/kWh als gemiddelde maatschappelijke kosten van een onderbreking.

In de maatschappelijke kosten - baten analyse wordt uitgegaan van een levensduur van de investering van 50 jaar. Dit is gebaseerd op de top van de technische levensduur van de primaire componenten. Voor de secundaire componenten, zoals de beveiligingrelais, is deze technische levensduur maar 25 jaar en zal bij de maatschappelijke kosten - baten analyse dubbel worden meegenomen om een reële vergelijking over 50 jaar te maken. 50 jaar is de tijdsduur waarin de maatschappelijke investering terugverdiend moet zijn.

In de MKBA wordt bewust alleen gekeken naar de maatschappelijke kosten veroorzaakt door een onderbreking van de voeding naar het onderliggende net. De railsysteem functies "doortransport" en "aankoppeling grote productie" hebben ontwerpcriteria gebaseerd op transportzekerheid. De aansluitingen van grote afnemers zijn gebaseerd op bedrijfseconomische motieven zoals wordt toegelicht in hoofdstuk 10 en worden daarom ook buiten de MKBA gehouden.

8.5.1 MKBA voor toevoeging railbeveiliging nieuwe 110/150kV stations

Op basis van een analyse van de landelijke Nestor gegevens zou het te behalen verbeterpotentieel in de jaarlijkse uitvalduur 28 sec bedragen als alle 110/150kV stations in Nederland zouden zijn uitgerust met railbeveiliging. Op basis van 291 HS-stations is dit een verbetering van 0,1 sec in de jaarlijkse uitvalduur per 110/150kV station dat is uitgerust met een railbeveiliging. Over de levensduur van 50 jaar geeft dit een totale reductie in landelijke uitvalduur van 5 sec per 110/150kV station dat is uitgerust met railbeveiliging. De te behalen winst van 5 sec over de levensduur van een 110/150kV station met railbeveiliging vertegenwoordigt daarmee een maatschappelijke waarde van 5/3600*128,2 M€ = 178.000 €.

De totale extra investering over 50 jaar voor het aanbrengen van railbeveiliging op een nieuw 110/150kV station bedraagt gemiddeld 900.000 € waarmee het aanbrengen van railbeveiliging op alle nieuwe 110/150kV stations vanuit een maatschappelijk kosten - baten oogpunt ongewenst is.

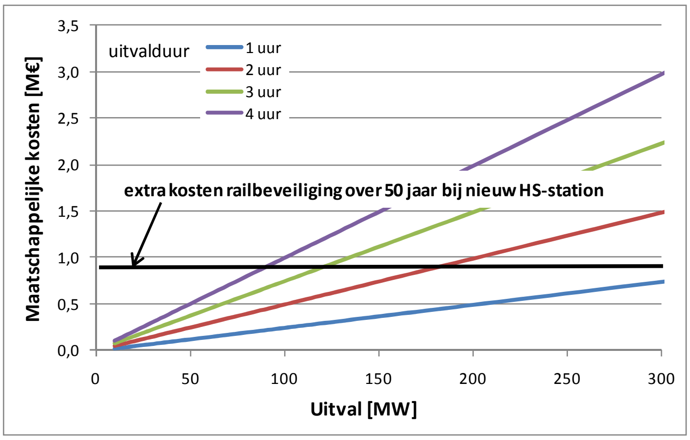
De populatie 110/150kV stations wordt echter gekenmerkt door een grote vermogensrange van 10 – 250MW naar het onderliggende net. Daarom is ook een verdere maatschappelijke kosten - baten analyse gemaakt op basis van belasting in het onderliggende net. Figuur 14 toont de resultaten van deze analyse.

---

[28] SEO; "MKBA netinvesteringen netuitlopers"; SEO-rapport nr 2009-28; ISBN 978-90-6733-497-6; mei 2009

In Figuur 14 zijn de maatschappelijke baten uitgedrukt als vermeden risicokosten over 50 jaar bij een bepaald vermogen en een gemiddelde tijdsduur van de onderbreking.

Op basis van een typische uitvalduur van 1-3 uur en rekening houdend met de in de politiek reeds bekende grens van 100MW wordt op basis van deze MKBA geconcludeerd dat het vanuit maatschappelijke kosten baten oogpunt verdedigbaar is om alle nieuwe 110/150kV stations die een onderliggend net met een belasting van 100 MW of meer voeden, uit te rusten met railbeveiliging.



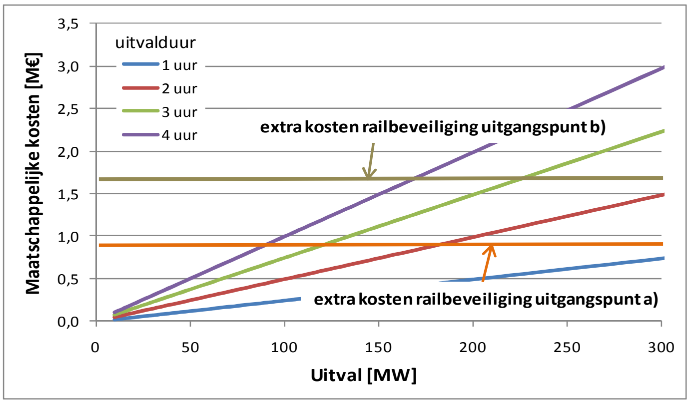
Figuur 14: Verband maatschappelijke kosten baten aanbrengen railbeveiliging in nieuwe 110/150kV stations als functie van onderbroken vermogen en tijdsduur onderbreking.

8.5.2 MKBA voor toevoeging railbeveiliging bestaande 110/150kV stations

Voor de MKBA ten aanzien van het toevoegen van railbeveiliging in bestaande 110/150kV stations zijn twee scenario's bekeken:

a) Aanbrengen railbeveiliging op natuurlijk vervangingsmoment
b) Geforceerd aanbrengen van railbeveiliging

Zoals Figuur 15 laat zien vergt het geforceerd achteraf aanbrengen van railbeveiliging een hogere investering. Deze hogere investering wordt voornamelijk veroorzaakt door het voortijdig vervangen van ongeschikte meettransformatoren.



Figuur 15: Verband maatschappelijke kosten baten toevoegen railbeveiliging aan bestaande HS-stations als functie van onderbroken vermogen en tijdsduur onderbreking.

Op basis van Figuur 15 en het feit dat de lokale belasting van het onderliggende net zelden hoger is dan 200MW, wordt de conclusie getrokken dat het geforceerd aanbrengen van railbeveiliging op bestaande 110/150kV stations vanuit een maatschappelijk kosten - baten oogpunt niet wenselijk. Voor het aanbrengen van railbeveiliging op een natuurlijk vervangingsmoment geldt dezelfde afweging als bij nieuwe stations, namelijk om 110/150kV stations met een belasting van 100 MW en hoger uit te rusten met railbeveiliging.

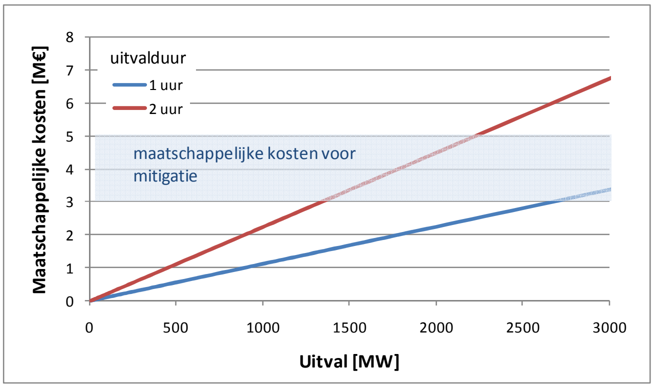
8.5.3 MKBA voor enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem tijdens onderhoud, nieuwe stations

Om ook tijdens onderhoud enkelvoudige storingsreserve te hanteren op de railsystemen moet de railconfiguratie uitgebreid worden ten opzichte van een standaard dubbelrailsysteem. Deze noodzakelijke uitbreiding vergt extra investeringen en grondbeslag wat de belangrijkste componenten van de extra maatschappelijke kosten zijn voor deze hogere kwaliteitseis aan de railsystemen.

De gemiddelde extra investeringen om enkelvoudige storingsreserve op de railsystemen van 220/380kV stations en de 110/150kV stations die direct gekoppeld zijn met deze 220/380kV stations mogelijk te maken, worden geschat op 3-5 M€.

De extra investeringen voor kleine 110/150kV stations zullen wat lager zijn maar gezien de resultaten van de MKBA voor het aanbrengen van railbeveiliging (paragraaf 8.5.1) zal een break-even punt tussen maatschappelijke kosten en baten voor deze stations niet bereikt worden. De belasting in het onderliggende net is hiervoor te klein. Deze MKBA richt zich dan ook op de 220/380kV stations en de direct daarmee gekoppelde 110/150kV stations.

Analoog aan paragraaf 8.5.1 worden de baten uitgedrukt worden als vermeden risicokosten over een periode van 50 jaar.



Figuur 16: Verband maatschappelijke kosten baten enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem tijdens onderhoud in nieuwe stations.

In Figuur 16 zijn de maatschappelijke baten uitgedrukt als vermeden risicokosten over 50 jaar bij een bepaald vermogen en een gemiddelde tijdsduur van de onderbreking. De uitvalduur in Figuur 16 is beperkt tot twee uur vanwege de reeds aanwezige vakmensen zoals in hoofdstuk 8.3.3 is toegelicht.

Op basis van Figuur 16 wordt geconcludeerd dat het voor nieuwe stations op basis van deze MKBA niet doelmatig is voor vermogens onder de 1.000 – 1.500 MW te investeren in uitgebreidere railsystemen.

8.5.4 MKBA voor enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem tijdens onderhoud, bestaande stations

Investeren in uitgebreidere railsystemen in bestaande stations vergt niet alleen grotere investeringen dan bij nieuwe stations maar brengt ook extra risico ten aanzien van de leveringszekerheid met zich mee zoals beschreven in hoofdstuk 8.4.2. Gezien de in Figuur 16 gepresenteerde uitkomsten van de MKBA voor nieuwe stations en de belastingverdeling van de bestaande stations zoals gepresenteerd in Tabel 6, wordt geconcludeerd dat het aanpassen van bestaande stations ook vanuit een maatschappelijke kosten baten perspectief niet verdedigbaar is.

8.6 Toelaatbare onderbreking productie bij railuitval

Bij de maximaal toelaatbare onderbreking van productie zijn meerdere grenswaarden mogelijk. Een lagere waarde vertaalt zich in uitgebreidere en daarmee duurdere stationsconfiguraties, maar betekent ook een hogere transportzekerheid. Een hogere waarde vertaalt zich weliswaar in een goedkopere stationsconfiguratie maar ook in het aanhouden van een grotere primaire en secundaire reserve hetgeen operationele kosten met zich meebrengt. De grenswaarde speelt niet alleen bij normaal bedrijf, maar juist ook wanneer een railsysteem uit bedrijf is voor onderhoud. Meerdere productie-eenheden zijn op dat moment met één railsysteem gekoppeld.

De elektriciteitsvoorziening wordt geregeld geconfronteerd met uitval van een productie-eenheid. Het systeem is daarbij zodanig ingericht dat ook de uitval van de grootste eenheid geen gevolgen heeft voor de levering. Met de uitval van een productie-eenheid wordt immers in de bedrijfsvoering permanent rekening

gehouden, dit door middel van toepassing van het n-1 criterium waarmee bij een uitval overbelasting op verbindingen wordt voorkomen.

Bij uitval van een productie-eenheid zorgen de primaire en secundaire regelingen van de andere, nog operationele, productie-eenheden in het systeem ervoor dat vraag en aanbod in balans blijven.

Ter indicatie:
De primaire regeling herstelt na een productie-uitval de energiebalans in circa 15 seconde door productie-eenheden op te regelen, de secundaire regeling zorgt voor definitief herstel in circa 15 minuten, waarna ook weer de primaire reserve beschikbaar komt.

Gelijktijdige uitval van meerdere productie-eenheden, doordat deze met dezelfde 'gestoorde' rail zijn gekoppeld, kan productieverlies betekenen welke groter is dan die van de grootste eenheid waartegen het systeem ten minste bestand is. Dit heeft gevolgen voor de wijze waarop het systeem dit kan ondervangen. Factoren die hierbij van belang zijn, zijn de beschikbare interconnectiecapaciteit (vermogen moet vanuit buitenland worden aangevoerd) en de primaire en secundaire regeling waarmee het vermogenstekort, via de overige productie-eenheden wordt opgelost.

8.6.1 Beschouwing maximaal toelaatbare onderbreking van productievermogen in Nederland

1.100 MW
Wanneer als regel wordt aangenomen dat de som van gelijktijdige onderbreking van productie niet groter mag zijn dan die van de grootste productie-eenheid in Nederland, is de leveringszekerheid niet in het geding. Er mag namelijk vanuit worden gegaan dat productie-uitval van deze omvang vaker moet worden opgevangen. De grootste eenheid is op dit moment 1.100 MW. Opvangen van uitval hiervan vindt plaats binnen de beschikbare 3.000 MW primaire reserve in Europa en binnen de secundaire reserve in eigen land.

1.500 MW
Een grenswaarde van 1.500 MW heeft als voordeel dat twee grote eenheden nog met één railsysteem kunnen worden gekoppeld. Hierdoor ontstaat minder snel aanleiding tot een uitgebreidere stationsconfiguratie. De maximale productie-onderbreking is binnen de beschikbare interconnectiecapaciteit en binnen de 3.000 MW-eis voor primaire reserve. Er bestaat een kans dat een klein aandeel van de secundaire reserve door het buitenland moet worden geleverd. De omvang hiervan is echter maximaal gelijk aan de 'onwillekeurige uitwisseling' die onder normale bedrijf ook wel voor komt.

2.000 MW
Een grenswaarde van 2.000 MW wordt in Duitsland gehanteerd voor maximale onderbreking van productie bij uitval van een railsysteem. Dit is ruim binnen de 3.000 MW-grens voor de primaire reserve, maar voor Nederland is onzeker of dit ook te allen tijde via de interconnectoren kan worden aangeleverd. Deze waarde ligt tevens ruim boven de huidige secundaire reserve in Nederland, die immers gebaseerd is op verstoring van de grootste productie-eenheid. Dit heeft tot gevolg dat bij een railstoring gedurende langere tijd energie zal worden betrokken uit het buitenland en het herstel van de primaire reserve langer duurt dan internationaal afgesproken. In Duitsland kan deze grenswaarde wel worden gehanteerd, doordat er als gevolg van de veel grotere gezamenlijke control area, ook meer gecontracteerde secundaire reserve aanwezig is (circa 3.000 MW).

2.500 MW
Een grenswaarde van 2.500 MW kan alleen binnen de huidige internationale afspraken als de benodigde secundaire reserve wordt vergroot. Dit zou binnen de eigen landsgrenzen kunnen, maar is zeer kostbaar

omdat daarvoor veel meer secundaire reserve moet worden gecontracteerd. Alternatief zou kunnen zijn wijziging; van internationale afspraken door verlegging van de 'control area', bijvoorbeeld een gezamenlijke Nederlandse - Duitse secundaire reserve. Dit laatste vergt wel veel interconnectiecapaciteit.

8.6.2 Voorstel ontwerpcriterium maximaal toelaatbare onderbreking productie bij railuitval

Om enerzijds de vrije energiemarkt niet te verstoren door het opleggen van een beperking op de maximale omvang van de generatoren maar aan de andere zijde de kosten voor het aanhouden van de secundaire reserve te minimaliseren, beveelt de projectgroep aan:

- een beperking vast te leggen voor de toegestane maximale gelijktijdige onderbreking van productie-eenheden.
- de grenswaarde te baseren op de grootste eenheid in Nederland.

Op basis van de huidige situatie wordt voorgesteld de grenswaarde op 1.500 MW te leggen. Indien er een marktpartij vervolgens een productie-eenheid groter dan 1.500 MW wil aansluiten zal deze waarde weer opgerekt moeten worden. De eigenaar van deze nieuwe productie-eenheid en TenneT zullen in dat geval ook zorgen dat de secundaire reserve verhoogd wordt.

Om toekomstige markt- en technologie-ontwikkelingen praktisch te kunnen faciliteren wordt geadviseerd de getalwaarde van de beperking in lagere regelgeving vast te leggen en het principe ervan in hogere regelgeving

8.7 Railsysteem configuraties in Europa

Europa kent een grote variëteit aan railsysteemconfiguraties: dubbel-railsysteem; dubbel-railsysteem met onderhoudsrail; (meervoudig) gesectioneerde railsystemen; 3-railsystemen; 3/2 schakelaarsystemen; 2-schakelaarsystemen.

Hoewel er een algemene consensus is dat railsystemen op 220/380kV niveau enkelvoudige storingsreserve hebben bij normaal bedrijf, lijkt er geen eenduidige behandeling van de enkelvoudige storingsreserve tijdens onderhoud. Op 110/150kV niveau wordt zelfs tijdens normaal bedrijf niet universeel enkelvoudige storingsreserve aangehouden.

Universele of wettelijke ontwerpcriteria die de grote diversiteit railsystemen binnen een regio kunnen verklaren zijn dan ook nog niet gevonden. De combinatie van nettopologie, belasting en productieconcentratie, engineeringvoorkeuren en risicobeoordelingen lijken aanleiding te geven voor een situationele keuze van een bepaalde railconfiguratie. Hierbij krijgen meer cruciale stations een uitgebreider railsysteem dan andere stations.

Duidelijke criteria voor het onderscheid in stations zijn nog niet gevonden. In dat kader zou het interessant zijn als de EU een performance benchmark uitvoert op de netten met een spanning van 220kV en hoger. Een dergelijke benchmark zou de effecten van de verschillende keuzen in net- en stationsontwerp op de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening zichtbaar kunnen maken. In de huidige CEER benchmark[29] staat het huidige Nederlandse elektriciteitsnet wederom in de top 3 van meest betrouwbare elektriciteitsnetten in Europa maar dit resultaat kan sterk beïnvloed zijn door de verschillen in middenspannings- en laagspanningsnetten.

Tot op heden geïnventariseerde buitenlandse praktijken geven het volgende beeld:

---

[29] CEER; "5th CEER Benchmarking report on the quality of electricity supply 2011"; 2011.

Duitsland – TenneT
TSO voor de 400 en 220kV netten

Uitgangspunt: N-1 tijdens onderhoud, alleen voor de belangrijke stations ook ten aanzien van de railsystemen

Oplossing: De belangrijkste stations kennen een triple railsysteem, minder belangrijke station een dubbel railsysteem zonder secties. Wel is er vaak een hulp rail aanwezig om doortransport gedeeltelijk te waarborgen. Vanwege de huidige ontwikkelingen die grote noord-zuid transporten veroorzaken wordt er vaker gekozen voor een triple railsysteem om het doortransport bij onderhoud te waarborgen.

Finland – Fingrid
TSO voor de 400 en 220kV netten

Uitgangspunt: N-1 wordt altijd gegarandeerd, ook tijdens onderhoud. Dit geldt voor de 400 tot 132kV netten

Oplossing: De stations bestaan uit dubbelrailsystemen waarbij de rail in secties verdeeld is. Onderhoud wordt alleen in de zomer gedaan, verschil tussen zomer en winterbelasting is groot.

Frankrijk - RTE
TSO voor de 400, 225, 90 en 63kV netten

Uitgangspunt: N-1 tijdens onderhoud voor de hoogste spanning en voor de belangrijke stations. Lagere spanning en minder belangrijke stations is uitval van belasting bij een fout tijdens onderhoud meer geaccepteerd.

Oplossing: De stations bestaan uit dubbelrailsystemen waarbij de rail in meerdere secties verdeeld is. Bij erg belangrijke stations verdeling in soms 4 tot 6 secties.

Ierland – EirGrid
TSO voor de 400, 220 en 110kVkV netten.

Uitgangspunt: N-1 tijdens onderhoud voor de hoogste spanning en belangrijke stations. Voor minder belangrijke stations is uitgangspunt dat de kans op uitval laatste rail erg klein is.

Oplossing: Hoogste spanningsniveau heeft dubbelrailsysteem in ring configuratie en verdeeld in secties. Dit geldt voor de belangrijke stations. Voor minder belangrijke stations effecten van uitval van laatste rail zo veel mogelijk beperken door verschakelen van belasting

Italië – Terna
TSO voor de 440, 220 en 150kV netten

Uitgangspunt: N-1 tijdens onderhoud maar niet voor het railsysteem. Onderhoud wordt wel gepland in perioden van lage belasting en waar nodig worden voorzieningen getroffen om doortransport te waarborgen tijden onderhoud.

Zweden - Svenska Kraftnät
TSO voor de 400kV netten.

Uitgangspunt: N-1 wordt altijd gegarandeerd, ook tijdens onderhoud. Dit geldt voor de 400 tot 132kV netten

Oplossing: De stations bestaan uit dubbelrailsystemen waarbij de rail in secties verdeeld is. Onderhoud wordt alleen in de zomer gedaan, verschil tussen zomer en winterbelasting is groot.

Zwitserland – Swissgrid
TSO voor de 400 en 220kV netten.
Uitgangspunt: N-1 tijdens onderhoud voor de hoogste spanning en voor de belangrijke stations. Bij 150kV netten is bij common cause fouten tijdens onderhoud beperkte uitval toegestaan.

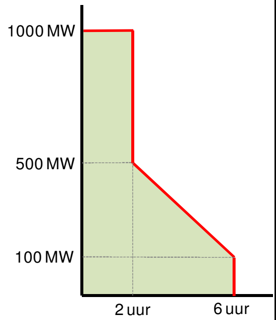
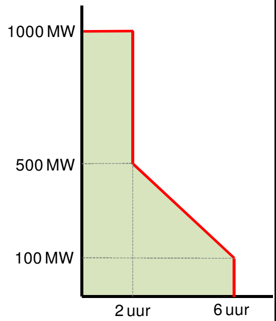
8.8 Conclusies en aanbevelingen ten aanzien van storingsreserve railsystemen in nieuwe situaties

De impact van het aanpassen van bestaande, in bedrijf zijnde railsystemen is zeer groot. Kosten en risico zijn dan ook voor nieuw te bouwen stations van een andere orde dan bij de keuze om een bestaande railconfiguratie te wijzigen. Een aparte afweging voor "bestaand" en "nieuw" is noodzakelijk. Dit hoofdstuk behandelt de conclusies en aanbevelingen voor nieuwe railsystemen.

Daar railsystemen meer dan één functie hebben namelijk:
1. Het faciliteren van doortransport van grote (inter)nationale energiestromen (alleen op 220/380kV netvlak);
2. Het aankoppelen van productie-eenheden en grote eindgebruikers;
3. Het beleveren van het onderliggend net voor verdere verdeling van elektrische energie richting eindgebruikers.

Zal per functie een conclusie getrokken worden en aanbeveling gedaan worden ten aanzien van mogelijke ontwerpcriteria.

Onderstaande tabel vat de aanbevelingen van de projectgroep samen. In de navolgende paragrafen van dit hoofdstuk worden de conclusies en overwegingen die geleid hebben tot deze aanbevelingen verder uitgediept.

<table>
<tr><th colspan="5">Samenvatting criteria voor enkelvoudige storingsreserve bij nieuwe railsystemen</th></tr>
<tr><th colspan="2">Netvlak</th><th>Doortransport</th><th>Productie uitval</th><th>Belasting uitval[30]</th></tr>
<tr><td rowspan="2">110kV
150kV</td><td>Volledig in bedrijf</td><td>Niet van toepassing</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet tot een onderbreking groter dan 1.500 MW productie kan leiden.</td><td>• Uitgezonderd van de eis te functioneren met enkelvoudige storingsreserve indien de belasting in het onderliggende net kleiner is dan 100MW.
• Bij een enkelvoudige storing aan het railsysteem is een onderbreking van belasting in het onderliggende net toegestaan mits de onderbroken aansluitingen kunnen worden omgeschakeld naar het nog ongestoorde railsysteem.</td></tr>
<tr><td>Onderhoud</td><td>Niet van toepassing</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet tot een onderbreking groter dan 1.500 MW productie kan leiden.</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet kan leiden tot een onderbreking groter dan weergegeven maximale vermogen-tijd curve.

</td></tr>
<tr><td rowspan="2">220kV
en hoger</td><td>Volledig in bedrijf</td><td>Enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem.</td><td>Enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem[31].</td><td>Enkelvoudige storingsreserve op het railsysteem.</td></tr>
<tr><td>Onderhoud</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet kan leiden tot cascade onderbreking van belasting of productie op andere lokaties in de netten met een spanning van 220kV en hoger.</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet tot een onderbreking groter dan 1.500 MW productie kan leiden.</td><td>Uitgezonderd van enkelvoudige storingsreserve indien een enkelvoudige railstoring niet kan leiden tot een onderbreking groter dan weergegeven maximale vermogen-tijd curve.

</td></tr>
</table>

8.8.1 Enkelvoudige storingsreserve railsystemen bij volledig in bedrijf zijnd net

De conclusies en aanbevelingen zijn opgedeeld in netten met een spanning van 110/150kV en netten met een spanning van 220kV en hoger. Dit is conform de huidige E-wet en Codes.

30 Bij belasting uitval wordt gekeken naar de belasting in het onderliggende publieke net. De belasting van enkelvoudig aangeslotenen afnemers in netten met een spanning van 110kV en hoger, worden in deze beschouwing niet meegenomen daar de afnemer zelf kiest af te zien van enkelvoudige storingsreserve.

31 Indien de aangesloten producent voor een enkelvoudige aansluiting heeft gekozen kan deze aansluiting bij een railstoring natuurlijk onderbroken raken.

Netten met een spanning van 220kV en hoger

Doortransport:

In de huidige praktijk zijn de netten met een spanning van 220kV en hoger tijdens volledig in bedrijf zijnd net in ontwerp en functioneren voorzien van enkelvoudige storingsreserve. Doortransporten zijn door de enkelvoudige storingsreserve voldoende geborgd. De praktijk sluit aan bij de E-wet en de Netcode.

Aankoppelen van grote eindgebruikers:

Zoals in hoofdstuk 10 wordt uitgewerkt kiezen veel eindgebruikers om eigen, veelal bedrijfseconomische redenen voor een aansluiting zonder enkelvoudige storingsreserve. Een onderbreking van deze aangeslotenen bij een railstoring is daarmee onvermijdelijk en een bewust afgewogen risico van de aangeslotene. Hiervoor hoeft in de storingsreserve van het railsysteem dan ook geen rekening mee gehouden te worden.

Indien echter op één railsysteem meerdere aansluitingen bestaan uit grote generatoren, zou uitval van dit railsysteem de transportzekerheid bedreigen indien het gezamenlijke vermogen van de generatoren te groot is. Huidige praktijk is dat de netbeheerder er vanuit zijn verantwoordelijkheid voor de transportzekerheid (E-wet, artikel 16, lid 2) voor zorgt dat het productievermogen op één railsysteem voldoende beperkt blijft ten opzichte van de aanwezige primaire en secundaire reserves. Hierdoor zal uitval van een enkel railsysteem niet de transportzekerheid bedreigen.

Ondanks dat er vanuit de huidige praktijk geen aanleiding toe is, komt de projectgroep, uit oogpunt van toekomstige ontwikkelingen voor grootschalige productie en duurzame opwekking, toch tot de conclusie dat het wenselijk is het maximale verlies aan productie ten gevolge van een railstoring meer expliciet te borgen in wet- en regelgeving. Op basis van hoofdstuk 8.6 komt zij tot de volgende aanbevelingen:

- Voeg het maximale toegestane productieverlies ten gevolge van een railstoring toe aan de ontwerpcriteria in regelgeving;
- Zorg er voor dat de "getalswaarde" van het maximaal toegestane productieverlies alleen in lagere regelgeving wordt opgenomen zodat deze veranderbaar is als markt- en technologieontwikkelingen hierom vragen
- De meest doelmatige waarde voor het toegestane productieverlies is iets groter dan het vermogen van de grootste generator in het Nederlandse net. Gezien de huidige situatie en verwachte ontwikkelingen adviseert de projectgroep het maximaal toegestaan productieverlies als gevolg van een railstoring te beperken tot 1.500 MW.

Beleveren belasting in onderliggend net:

In de huidige praktijk zijn de netten met een spanning van 220kV en hoger conform wet- en regelgeving tijdens volledig in bedrijf zijnd net in ontwerp en functioneren voorzien van enkelvoudige storingsreserve. Dit geldt ook voor het ontwerp en functioneren van de transformatoren die de koppeling en belevering van de onderliggende 110/150kV netten verzorgen. De praktijk sluit bij aan de E-wet en de Netcode.

Netten met een spanning van 110/150kV

Doortransport: niet van toepassing

Aankoppelen van grote eindgebruikers:

Hoewel de generatoren aangesloten op 110/150kV netten vaak kleiner in vermogen zijn dan degenen aangesloten op de 220/380kV netten, kunnen op bepaalde stations toch aanzienlijke productievermogens aangesloten zijn. De projectgroep komt dan ook tot de conclusie dat het wenselijk is het voor de netten met een spanning van 220kV en hoger voorgestelde ontwerpcriterium, "maximaal toegestaan verlies productie

ten gevolge van een enkelvoudige railstoring", ook van toepassing te verklaren voor de railsystemen op 110/150kV.

Belevering van het onderliggende net:
De huidige praktijk is geënt op de Netcode en kent in het functioneren van de railsystemen op 110/150kV geen enkelvoudige storingsreserve. Wel wordt er in het ontwerp rekening gehouden met enkelvoudige storingsreserve zodat het gestoorde deel van de aanwezige railsystemen na een storing relatief snel te scheiden is van het nog "gezonde" deel. Na deze scheiding kan het "gezonde" deel weer onderspanning gebracht kan worden.

Op basis van:

1. De conclusie van hoofdstuk 6 waarin de projectgroep adviseert de huidige, in artikel 4.1.4.6, lid a van de Netcode vastgelegde, uitzondering op de enkelvoudige storingsreserve van maximaal 10 minuten en maximaal 100MW in wet- en regelgeving te behouden;
2. De MKBA zoals beschreven in hoofdstuk 8.5.1, die pas vanaf vermogens van ongeveer 100 – 200 MW een positieve uitkomst geeft voor toepassen van een railbeveiliging. Een railbeveiliging is apparatuur die het mogelijk maakt alleen het gestoorde deel van de railsystemen automatisch af te schakelen en daarmee te voorkomen dat het gehele station wordt afgeschakeld;
3. De MKBA beschreven in hoofdstuk 8.5.3 die aangeeft dat investeren in een uitgebreider railsysteem dan het gebruikelijke dubbel railsysteem slechts uitkan voor vermogens veel groter dan de vermogens die via de 110/150kV railsystemen naar het onderliggende net worden geleverd.

Komt de projectgroep tot de conclusie dat er voor railsystemen in netten met een spanning van 110/150kV een uitzondering nodig is ten opzichte van de enkelvoudige storingsreserve eisen die zijn vastgelegd in de huidige E-wet, artikel 31, lid 12 en 13.

De projectgroep komt tot de volgende aanbevelingen ten aanzien van de enkelvoudige storingsreserve voor railsystemen in netten met een spanning van 110/150kV tijdens volledig in bedrijf zijnd net:

A. Railsystemen in netten met een spanning van 110/150kV zijn uitgezonderd van de eis te functioneren met enkelvoudige storingsreserve indien de belasting in het onderliggende net kleiner is dan 100MW;
B. Bij een enkelvoudige storing aan het railsysteem is een onderbreking van belasting in het onderliggende net toegestaan mits de onderbroken aansluitingen binnen 10 minuten kunnen worden omgeschakeld naar het nog ongestoorde railsysteem .

Toelichting aanbeveling A
Aanbeveling A zorgt er voor dat de huidige praktijk van het bedrijfvoeren van 110/150kV railsystemen doorgezet kan worden voor vermogens kleiner dan 100MW. Investeren in een voor enkelvoudige storingsreserve noodzakelijke railbeveiliging is immers niet doelmatig op basis van de uitgevoerde MKBA.

Toelichting aanbeveling B
In aanbeveling B wordt een onderbreking van belasting toegestaan mits de onderbroken aansluitingen binnen 10 minuten kunnen worden omgeschakeld. Deze uitzondering is noodzakelijk om doelmatig gebruik te kunnen maken van de in hoofdstuk 6 aanbevolen uitzondering van 100MW en 10 minuten. Deze uitzondering geldt voor iedere aansluiting tussen het 110/150kV net en het onderliggende net.

Op één railsysteem kunnen echter gelijktijdig meerdere aansluitingen naar het onderliggende net functioneren waardoor de totale onderbroken belasting bij een railstoring groter kan zijn dan 100 MW. Elke aansluiting afzonderlijk echter moet in 10 minuten omgeschakeld kunnen worden naar het nog in bedrijf zijnde railsysteem.

8.8.2 Enkelvoudige storingsreserve railsystemen bij onderhoud

De conclusies zijn opgedeeld in netten met een spanning van 110/150kV en netten met een spanning van 220kV en hoger. Dit is conform de huidige E-wet en Codes.

Netten met een spanning van 220kV en hoger

Doortransport:

In de huidige praktijk functioneren de railsystemen in netten met een spanning van 220kV en hoger tijdens onderhoud niet altijd met enkelvoudige storingsreserve. Deze praktijk sluit goed aan bij Netcode artikel 5.5.2.2 waarin gesteld wordt dat uitval van het laatst in bedrijf zijnde railsysteem in een station uitgezonderd is van de enkelvoudige storingsreserve. Bij verlies van het laatste in bedrijfzijnde railsysteem zullen echter ook alle (inter)nationale doortransporten die het station passeren via alternatieve routes in het 220/380kV netwerk gaan lopen.

In de meeste gevallen leidt het "verschuiven" van de (inter)nationale doortransporten niet tot problemen daar er door de aanwezige ringstructuren voldoende capaciteit is op alternatieve routes. Indien deze alternatieve routes niet voldoende capaciteit hebben zal er een cascade uitval ontstaan van 220/380kV verbindingen. Hierdoor blijft een eventuele uitval van productie en belasting niet beperkt blijft tot het directe voorzieningsgebied van het 220/380kV station waar de uitval van het laatst in bedrijfzijnde railsysteem optrad. Afhankelijk van de optredende overbelastingen kan deze cascade uitval zich buiten de landsgrenzen uitbreiden.

Gezien:

- De groei van grootschalige duurzame opwekking in Nederland maar vooral ook buurland Duitsland;
- De door het SEV gestimuleerde verhuizing van grootschalige conventionele productiefaciliteiten naar de randen van het Nederlands 220/380kV net;

acht de projectgroep het van belang dat doortransporten ook gedurende onderhoud aan railsystemen voldoende gewaarborgd zijn. Voldoende is hierbij gedefinieerd als: er zullen geen cascade onderbrekingen van productie en belasting plaatsvinden op andere 220/380kV stations dan het 220/380kV station dat getroffen wordt door een railstoring.

De projectgroep beveelt aan het volgende kwaliteitscriterium in wet- en regelgeving op te nemen:
Tijdens onderhoud aan railsystemen in netten met een spanning van 220kV en hoger mag een enkelvoudige railstoring niet leiden tot cascade onderbrekingen van productie en belasting in andere stations met een spanning van 220kV en hoger.

Aankoppelen van grote eindgebruikers:

Net als tijdens situaties met een volledig in bedrijf zijnd net, moet ook tijdens onderhoudssituaties worden voorkomen dat een enkelvoudige storing aan een railsysteem tot een bedreiging van de transportzekerheid leidt als gevolg van het verlies van het gezamenlijke vermogen van de aangekoppelde generatoren.

De projectgroep komt dan ook wederom tot de conclusie dat het wenselijk is het maximale verlies aan productie ten gevolge van een railstoring meer expliciet te borgen in wet- en regelgeving. Zij beveelt dan ook aan het maximaal toegestane productverlies zoals gedefinieerd in hoofdstuk 8.8.1, ook van toepassing te laten zijn voor situaties met onderhoud. Voor de situatie met onderhoud aan het railsysteem wordt dus ook aanbevolen:

- Het maximale toegestane productieverlies ten gevolge van een railstoring toe te voegen aan de ontwerpcriteria in regelgeving;

- Er voor te zorgen dat de "getalswaarde" van het maximaal toegestane productieverlies alleen in lagere regelgeving wordt opgenomen zodat deze veranderbaar is als markt- en technologieontwikkelingen hierom vragen
- Het maximaal toegestaan productieverlies als gevolg van een railstoring te beperken 1.500 MW gezien de huidige markt en daarin aanwezige technologie.

<u>Beleveren belasting in onderliggend net:</u>
In de huidige praktijk functioneren de railsystemen in netten met een spanning van 220kV en hoger tijdens onderhoud niet met enkelvoudige storingsreserve. Deze praktijk sluit goed aan bij Netcode artikel 5.5.2.2 waarin gesteld wordt dat uitval van het laatst in bedrijf zijnde railsysteem in een station uitgezonderd is van de enkelvoudige storingsreserve. Een enkelvoudige storing aan het laatst in bedrijf zijnde railsysteem kan echter leiden tot uitval van belasting in het onderliggende net.

Hoewel een enkelvoudige storing aan het railsysteem tijdens onderhoud in een enkel geval zelfs tot een grootschalige onderbreking van vrijwel de gehele provincie zou kunnen leiden, zal het 220/380kV net niet instabiel worden. Instabiliteit wordt voorkomen vanwege de door de projectgroep aanbevolen kwaliteitscriteria op het gebied van doortransport en maximaal productieverlies. Door deze criteria kan de onderbreking weliswaar een aanzienlijke omvang hebben maar blijft het een geïsoleerde gebeurtenis.

Daar de kans op een railstoring erg klein is, is op basis van een MKBA analyse onderzocht of het doelmatig is te investeren in uitgebreidere railsystemen. Deze uitgebreide railsystemen voorzien ook tijdens onderhoud van een railsysteem in enkelvoudige storingsreserve. Op basis van de MKBA, beschreven in hoofdstuk 8.5.3, komt de projectgroep tot de conclusie dat pas vanaf belastingen rond 1.500 MW de MKBA positief begint uit te vallen voor een investering in een uitgebreider railsysteem. Dit bij een hersteltijd van 2 uur. Hierbij wordt opgemerkt dat de statistische gegevens voor de kansbepaling beperkt zijn hetgeen een spreiding op het genoemde break-even punt geeft. Meer statistische data is echter niet voor handen, hetgeen logisch is gezien de kleine kans op een railstoring in verhouding tot de levensduur van het net.

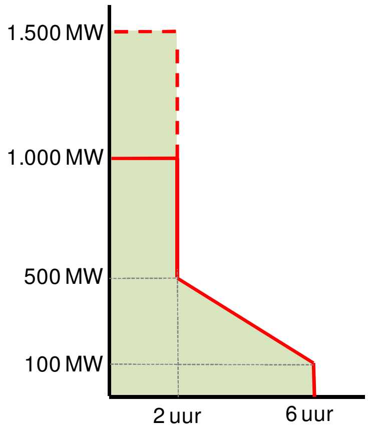
Daar belastingen van 1.500 MW en meer eigenlijk niet voor komen op de railsystemen van de huidige Nederlandse 220/380kV stations, is vervolgens beschouwd of er naast de MKBA andere argumenten zijn om voor het beleveren van belasting enkelvoudige storingsreserve op de railsystemen aan te houden tijdens onderhoud. In de beschouwing is meegenomen:
- Dat de huidige leveringszekerheid van Nederland tot de top 3 van Europa behoort
- Dat railstoringen tijdens onderhoud in netten met een spanning van 110kV en hoger gemiddeld slechts een bijdrage van 22 seconden op de totale jaarlijkse onderbrekingsduur van 30 minuten hebben. Met andere woorden: extra investeren in uitgebreide railsystemen met enkelvoudige storingsreserve tijdens onderhoud, zal geen noemenswaardige verbetering van de huidige leveringszekerheid geven.
- Dat onderbrekingen vanaf een bepaalde duur per getroffen aansluiting in verhouding meer overlast gaan veroorzaken doordat koelkasten en diepvriezen ontdooien, er niet gekookt kan worden en temperaturen in de winter sterk gaan dalen door het uitvallen van verwarming. Een tijdlimiet zoals de reeds bekende 6 uur uit artikel 31, lid 13 van de elektriciteitswet lijkt wenselijk.
- Dat de economische schaalgrootte van de transformatoren tussen het 220/380kV net en het onderliggende 110/150kV net in de orde grote van 500 MVA, afgerond 500 MW, ligt. Deze transformatoren functioneren ook bij onderhoud met enkelvoudige storingsreserve. 500 MW of een veelvoud daarvan is daarmee een praktische en economische eenheid voor een eventuele begrenzing van de mogelijke onderbreking.
- Dat gezien de beperkte statistische data voor de kansberekening enige marge aangehouden moet worden ten aanzien van het break-even punt in de MKBA die het investeren in uitgebreidere

railsystemen afweegt. Een conservatieve invulling van deze marge, op basis van het economische transformatorvermogen van 500 MW, geeft een grens van 1.000 MW waarboven investeren in een uitgebreider railsysteem vanuit het oogpunt van doelmatigheid verdedigbaar wordt.

- Dat de bedrijfsvoeringcentra in de eerste uren na de onderbreking de omvang van een zeer grote onderbreking meestal sterk kunnen beperken door delen van het onderliggende 110/150kV net anders te configureren en opnieuw in bedrijf te nemen.
- Dat voor netten met een spanning van 110/150kV bij onderhoud een onderbreking van belasting is toegestaan van maximaal 100MW en maximaal 6 uur. Dit conform de E-wet artikel 31, lid 13.

Op basis van bovenstaande beschouwingen wordt de conclusie getrokken dat:

A. Railsystemen tijdens onderhoud onder voorwaarden uitgezonderd moeten worden van enkelvoudige storingsreserve.
B. Er vanuit het oogpunt van doelmatigheid een in vermogen en tijd begrensde onderbreking van belasting toegestaan moet worden bij een enkelvoudige storing aan het railsysteem;
C. De maximaal toegestane onderbreking van belasting in het onderliggende net en bijbehorende hersteltijd begrensd moet worden via een curve die:
    - wordt bepaald door de punten:
        - 1.000 MW, 2 uur
        - 500 MW, 2 uur
        - 100 MW, 6 uur
    - en is weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17: toegestane onderbreking belasting als gevolg van een railstoring tijdens onderhoud

<u>Interpretatie van de curve voor de maximaal toegestane onderbreking van belasting</u>
Een railstoring mag nooit leiden tot een onderbreking groter dan 1.000 MW. Twee uur na de railstoring zal de omvang van de onderbreking, door bijvoorbeeld bedrijfsvoeringmaatregelen, terug gebracht moeten zijn naar 500 MW of minder. Verder herstel van de onderbreking vindt plaats binnen de maximale vermogen-tijd lijn die loopt van 500 MW, 2 uur naar 100 MW, 6 uur. Na uiterlijk 6 uur moet de gehele onderbreking hersteld zijn.

In Figuur 17 is middels de stippellijn gevisualiseerd dat hoewel de projectgroep op basis van de MKBA en bovengenoemde kwalitatieve argumenten 1.000 MW als grens adviseert, ook de keuze gemaakt kan worden voor een grenswaarde van 1.500MW zoals uit de MKBA naar voren komt.

Beseft moet worden dat de onder advies C. gedefinieerde curve een enigszins arbitrair karakter heeft maar daarvoor geldt dat elke andere invulling ook een enigszins arbitrair karakter zal hebben. De curve geeft een een optimum weer tussen doelmatigheid van investeringen en praktisch realiseerbare hersteltijden versus een acceptabel risico voor grootschalige onderbrekingen als gevolg van een railstoring tijdens onderhoud.

Netten met een spanning van 110/150kV
<u>Doortransport:</u> niet van toepassing

<u>Aankoppelen van grote eindgebruikers</u>
Hoewel de generatoren aangesloten op 110/150kV netten vaak kleiner in vermogen zijn dan degenen aangesloten op de 220/380kV netten, kunnen op bepaalde stations toch aanzienlijke productievermogens aangesloten zijn. De projectgroep komt dan ook tot de conclusie dat het wenselijk is het voor de 220/380kV voorgestelde ontwerpcriterium "maximaal toegestaan verlies productie ten gevolge van een enkelvoudige railstoring" ook van toepassing te verklaren voor de railsystemen op 110/150kV.

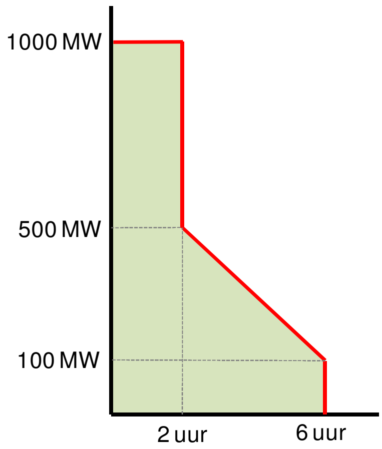
Belevering belasting onderliggend net

Het overgrote merendeel van de railsystemen in netten met een spanning van 110/150kV voedt een onderliggend met een belasting kleiner dan 250 MW. Echter de 110/150kV stations die via transformatoren direct gekoppeld zijn aan het 220/380kV net kunnen bij volledige uitval van de railsystemen het betreffende 110/150kV deelnet uiteen laten vallen. De railsystemen op deze stations zijn namelijk het verdeelpunt waar het grote vermogen van het 220/380kV net binnenkomt en verdeelt wordt over de verbindingen en stations van het 110/150kV deelnet. De onderbreking van belasting die kan ontstaan is in omvang en tijdsduur vergelijkbaar met de onderbreking van belasting die ontstaat als het bijbehorende 220/380kV station uitvalt.

De conclusie luidt dan ook dat ten aanzien van de belasting dezelfde voorwaarden voor uitzondering van het aanhouden van enkelvoudige storingsreserve gehanteerd moeten worden als bij de railsystemen in netten met een spanning van 220kV en hoger.

Aanbevolen wordt dat:

A. Railsystemen tijdens onderhoud onder voorwaarden uitgezonderd moeten worden van enkelvoudige storingsreserve.
B. Er vanuit het oogpunt van doelmatigheid een in vermogen en tijd begrensde onderbreking van belasting toegestaan moet worden bij een enkelvoudige storing aan het railsysteem;
C. De maximaal toegestane onderbreking van belasting in het onderliggende net en bijbehorende hersteltijd begrenst moet worden via een curve die:
   - wordt bepaalt door de punten:
     - 1.000 MW, 2 uur
     - 500 MW, 2 uur
     - 100 MW, 6 uur
   - en is weergegeven in Figuur 18



Figuur 18: toegestane onderbreking belasting als gevolg van een railstoring tijdens onderhoud

8.9 Direct met het railsysteem verbonden koppelvelden en beveiligingen

Railsystemen worden aan elkaar gekoppeld middels zogenaamde koppelvelden. In netten worden belastingen, generatoren en verbindingen verbonden met een railsysteem middels een "veld". Dit veld is een samenstel van scheiders, aarders, vermogensschakelaar, meetinstrumenten en beveiligingen die er voor zorgen dat:

- Gestoorde delen van het net automatisch afgeschakeld worden zodat de rest van het net blijft functioneren;
- Delen van het net gescheiden en geaard kunnen worden zodat er veilig aan deze delen gewerkt kan worden.

Een veld is vergelijkbaar met een "groep" in de meterkast thuis.

Het "koppelveld" is een veld dat twee railsystemen met elkaar verbindt. Dit veld zorgt er voor dat de railsystemen met enkelvoudige storingsreserve kunnen functioneren. Immers bij een fout aan één van de railsystemen zal het koppelveld automatisch openen en daardoor het nog "gezonde" railsysteem zonder onderbreking laten functioneren.

Het koppelveld bevat echter zoals ieder veld componenten die ook kunnen storen. Als dit gebeurt zijn er grofweg twee scenario's mogelijk:

1. Een component functioneert niet op het moment dat dat nodig is om een fout in een van de railsystemen af te schakelen;
2. De gestoorde component introduceert een sluiting in het koppelveld die moet worden afgeschakeld.

Beide situaties hebben tot gevolg dat de railsystemen aan beide zijden van het koppelveld volledig worden afgeschakeld door andere beveiligingen. Met andere woorden er ontstaat hetzelfde effect als bij het gelijktijdig storen van twee railsystemen.

Opgemerkt wordt dat het beschreven risico van de koppelvelden speelt bij volledig in bedrijf zijnd net en niet bij onderhoud. Bij onderhoud staan de koppelvelden open om een veilige scheiding te hebben tussen het railsysteem in onderhoud en het railsysteem dat in bedrijf is. In deze situatie staat het koppelveld niet onder spanning en ontstaan er geen storingen. Bij normaal bedrijf is het koppelveld echter gesloten om een optimale enkelvoudige storingsreserve in het net te bewerkstelligen. In deze gesloten bedrijfstoestand kan een storing in het koppelveld wel leiden tot uitschakeling van beide railsystemen.

Naast de koppelvelden zouden in theorie ook storingen aan een railbeveiliging kunnen leiden tot het geven van onterechte uitschakelbevelen met als gevolg dat meerdere railsystemen spanningsloos worden. Door de ontwikkeling van digitale logica, self check functies en vele voorwaarden waaraan voldaan moet zijn voor het beveiligingsrelais een uitschakelcommando geeft, is de kans op onterechte uitschakelbevelen de afgelopen jaren echter vrijwel tot nul gereduceerd.

8.9.1 Kans op risicovol storen van het koppelveld

In het koppelveld zijn de vermogensschakelaar en de stroomtransformatoren de componenten die bij storen het grootste risico geven op afschakelen van beide railsystemen. Op basis van de Nestor database waarin alle storingen van netten met een spanning van 110kV en hoger zijn opgenomen voor de jaren 2008 tot en met 2012 zijn de volgende storingsfrequenties te bepalen:

- Vermogensschakelaar: eens per 350 jaar
- Stroomtransformator: eens per 1100 jaar per veld

De genoemde storingsfrequenties bevatten alle mogelijke storingen. Zeker in het geval van de vermogensschakelaar zijn er veel storingen die niet leiden tot het afschakelen van beide railsystemen.

Bij zowel de vermogensschakelaar als de stroomtransformatoren leidt alleen een interne isolatiefout met explosie van de component direct tot afschakelen van beide railsystemen. Alle overige storingen kunnen er toe leiden dat de component niet goed werkt tijdens een railstoring maar dan moet er <u>en</u> een railstoring zijn <u>en</u> de component in het koppelveld falen. In deze situatie is er sprake van gelijktijdig optredende, onafhankelijke storingen hetgeen niet meer onder een enkelvoudige storing valt en dus buiten de scope van de enkelvoudige storingsreserve ligt.

De kans dat een vermogensschakelaar of stroomtransformator in een koppelveld faalt door een interne sluiting met directe afschakeling van beide railsystemen is slechts een klein percentage van de genoemde storingsfrequentie. Op basis van haar risico gebaseerde instandhoudingstrategie zal de netbeheerder

immers lagere storingskansen realiseren op haar koppelvelden dan de andere velden. De effecten van een falend koppelveld zijn groter dan bij een gewoon veld dus de kans moet omlaag voor een vergelijkbaar risico.

De kans op het gelijktijdig uitvallen van een twee railsystemen door het storen van het koppelveld is dan ook kleiner dan de kans op een railstoring tijdens onderhoud.

8.9.2 Mogelijke alternatieven

De alternatieven om te voorkomen dat er grote onderbrekingen ontstaan als er door een storing in het koppelveld twee railsystemen uitvallen, kennen twee principiële oplossingsrichtingen:

1. Het koppelveld wordt voorzien van dubbele vermogensschakelaars en redundante meetpunten
2. Een uitgebreider railsysteem zoals een triple railsysteem of 3/2 schakelaarsysteem waarbij het effect van het falen van het koppelveld opgevangen wordt in de storingsreserve van het railsysteem.

Ten aanzien van de eerste oplossingsrichting wordt opgemerkt dat het introduceren van extra componenten de faalkans van het koppelveld evenredig doet stijgen. Belangrijk is ook de kans op extra fouten in het ontwerp en functioneren van de bijbehorende complexe beveiliging.

Ten aanzien van de tweede oplossingsrichting wordt opgemerkt dat dit dezelfde alternatieven zijn als die worden genomen om enkelvoudige storingsreserve tijdens onderhoud aan het railsysteem te realiseren.

8.9.3 Conclusies en aanbevelingen voor koppelvelden en beveiligingen in nieuwe situaties

Conclusies:

- De verwaarloosbare kans dat een enkelvoudige storing in de railbeveiliging leidt tot het onterecht gelijktijdig afschakelen van meerdere railsystemen;
- de zeer kleine kans dat twee railsystemen gelijktijdig worden afgeschakeld door een storing in het koppelveld;
- het voor railsystemen tijden onderhoudssituaties geaccepteerde risico (hoofdstuk 8.8.2).

Aanbevelingen:

A. Railbeveiligingen uit te zonderen van de eis tot enkelvoudige storingsreserve
B. Voor koppelvelden tijdens volledig in bedrijf zijnd net dezelfde uitzonderingen op de eis van enkelvoudige storingsreserve toe te staan als zijn aanbevolen voor railsystemen tijdens onderhoudsituaties.

8.10 Conclusies voor railsystemen en koppelvelden in bestaande situaties

Met voorgestelde nieuwe en ten opzichte van de huidige praktijk verzwaarde enkelvoudige storingsreserve criteria, zullen een aantal bestaande railsystemen en koppelvelden niet voldoen. Aanpassen van deze bestaande situaties aan de nieuwe kwaliteitscriteria vergt naast een zekere doorlooptijd en investering ook een afweging tussen het risico van aanpassing en de te behalen winst in termen van een betrouwbaarder elektriciteitsvoorziening. De projectgroep komt tot de conclusie dat alleen al op basis van benodigde doorlooptijd voor aanpassing, de bestaande situatie voorlopig uitgezonderd moet worden van de nieuwe kwaliteitscriteria.

Een grove inventarisatie van de bestaande situatie levert op dat er twee groepen van benodigde aanpassingen te onderscheiden zijn:

- Het aanbrengen van railbeveiliging op 110/150kV stations met een belasting van 100MW en meer;
- Het uitbreiden van railsystemen in de netten met een spanning van 110kV en hoger om te voldoen aan de eisen van enkelvoudige storingsreserve bij onderhoud.

De eventueel benodigde aanpassing van bestaande koppelvelden speelt op dezelfde stations als waar de benodigde aanpassing van het railsysteem speelt..

8.10.1 Kosten van aanbrengen railbeveiliging op bestaande 110/150kV station met belasting ≥ 100 MW

Op basis van de belastingontwikkeling vermeld in het TenneT Kwaliteit en Capaciteitsplan 2011, zijn er 63 stations met een belasting van 100 MW of meer. Hiervan zijn 32 stations reeds voorzien van een railbeveiliging of hebben geen meervoudige railsystemen en koppelvelden.

Het aanbrengen van alleen de railbeveiliging apparatuur in de secundaire installatie van de overgebleven 31 stations vergt op basis van eenheidskentallen een investering van ongeveer 9 M€.

Voor een werkende railbeveiliging moeten er echter ook voor deze beveiliging geschikte primaire stroomtransformatoren geplaatst worden. Op de betreffende 31 stations zullen ongeveer 850 stroomtransformatoren voortijdig vervangen moeten worden met een vervangingswaarde van bijna 20 M€. Op basis van het TenneT bedrijfsmiddelen register en de verwachte restlevensduur van deze stroomtransformatoren zullen de aankomende jaren echter een aanzienlijk aantal van deze stroomtransformatoren vervangen worden vanwege veroudering. In de TenneT projectplanning is voor de aankomende tien jaar reeds de vervanging van 260 stuks van deze populatie stroomtransformatoren voorzien. Tevens zullen uiterlijk in 2030 alle stroomtransformatoren in de HS/MS-transformatorvelden vervangen moeten zijn voor nauwkeuriger meettransformatoren conform de afspraken ten aanzien van de implementatie van de Meetcode.

De wegens veroudering en Meetcode veroorzaakte noodzakelijke vervangingen van stroomtransformatoren zullen worden uitgevoerd met stroomtransformatoren die geschikt zijn voor railbeveiliging. Er zijn in 2030 dan nog 378 stroomtransformatoren op de 31 stations die niet geschikt zijn voor railbeveiliging. Deze moeten dan voortijdig vervangen worden. De vervangingswaarde van deze populatie is bijna 9 M€ op basis van standaard vervangingskosten ter hoogte van 23 k€ per stroomtransformator. Tien jaar later, in 2040, is het aantal vroegtijdig te vervangen stroomtransformatoren op basis van de verwachte levensduur teruggelopen naar 225 stuks met een vervangingswaarde van ruim 5 M€. In 2050 is er nog sprake van 93 stroomtransformatoren die voortijdig vervangen moeten worden met een vervangingswaarde van ruim 2 M€.

Hoewel er risico's gepaard gaan met het vervangen van een stroomtransformator, zijn dit relatief beperkte risico's omdat het hier gaat om aanpassingen in een veld en niet van een railsysteem waar meerdere velden mee zijn verbonden. Een railbeveiliging daarentegen draagt wel significant bij in het reduceren van de omvang van de onderbreking indien een railstoring optreedt. Daarnaast zorgt de snelle reactietijd van een railbeveiliging er ook voor dat er een minder lange spanningsdip is bij een kortsluiting aan het railsysteem. Hierdoor worden minder industriële aangeslotenen in de omtrek van het station getroffen worden door de effecten een spanningsdip.

De voordelen van de railbeveiliging zijn voldoende groot om de overgangstermijn te beperken. Voorgesteld wordt de exacte overgangstermijn uit te werken na acceptatie van de wetaanpassing en bij de wetaanpassing alleen op te nemen dat er een overgangstermijn moet zijn voor bestaande situaties.

8.10.2 Aanpassen bestaande railsystemen ten behoeve van storingsreserve tijdens onderhoud

Op basis van een expert judgement analyse zijn de verschillende bestaande 220/380kV stations en de direct daarmee gekoppelde 110/150kV stations beoordeeld. De beoordeling vond plaats aan de hand van de drie onderdelen: doortransport, productie en belasting, die bepalen of het betreffende railsysteem aangepast moet worden voor enkelvoudige storingsreserve tijdens onderhoud. Bij de analyse hebben de experts reeds rekening gehouden het gereed komen van de RCR-projecten: Randstad 380kV, Zuid West 380kV en het 380kV station Breukelen.

Tabel 7: grove expert inschatting van het aantal bestaande stations waarvan de railsystemen niet voldoen aan de nieuwe kwaliteitscriteria

Inschatting aantal bestaande stations met een aan te passen railsysteem op basis nieuwe criteria				
Spanning	**Doortransport**	**Productie**	**Belasting**	**Aanpassen**
220/380 kV	7	0	2 Overlap doortransport: 2	7
110/150 kV	n.v.t.	0	3	3

Bovenstaande Tabel 7 is slechts een eerste inschatting. Voor een nauwkeurige bepaling zijn omvangrijke netberekeningen nodig. Indien de aanbevelingen voor de nieuwe kwaliteitscriteria worden overgenomen, zullen alle railsystemen elke twee jaar getoetst op deze criteria getoetst worden in de reguliere cyclus voor het opstellen van het Kwaliteit en Capaciteit Document.

Zoals in hoofdstuk 8.5.4 reeds is aangegeven moet het aanpassen van bestaande railsystemen alleen gedaan worden op een natuurlijk moment of op basis van de transportzekerheid.

Belangrijk bij de overweging tot versneld aanpassen is het verhoogde risico dat samenhangt met de ombouw van een in bedrijf zijnd railsysteem. Het risico op grootschalige onderbreking tijdens de ombouw van een station is vergeleken met het normale, aan onderhoud gerelateerde risico op een railstoring Geconcludeerd wordt dat het risico van ombouw vergelijkbaar is met 35 tot 40 jaar normaal onderhoud. Het extra risico dat gelopen wordt vanwege het versneld ombouwen is bijna net zo groot als het totale risico dat gelopen wordt gedurende het normaal onderhoud over de gehele levensduur van de meeste apparatuur op een station.

Ook vanuit een MKBA oogpunt kan een versnelde aanpassing niet verdedigd worden. Het aanpassen van een bestaand railsysteem vergt ongeveer een factor vijf meer investeringen dan een uitgebreid railsysteem in een nieuwe installatie. De investeringen bedragen daarmee zo'n 15-30 M€ per aan te passen station onder de voorwaarde dat er voldoende planologische ruimte is. Zoals in hoofdstuk 8.5.3 is verwoord, valt de MKBA voor een uitgebreider railsysteem in nieuwe situaties pas positief uit vanaf ongeveer 1.500 MW. Met een factor vijf hogere kosten betekent dit dat de MKBA voor aanpassen van een bestaand railsysteem pas verdedigbaar is van zo'n 7.500 MW hetgeen de helft is van het totale verbruik van Nederland.

Op basis van bovenstaande is de conclusie dat het versneld aanpassen van railsystemen niet wenselijk is tenzij de transportzekerheid bedreigt wordt door toename van de doortransporten of productie.

8.10.3 Aanbevelingen

Voor de bestaande situaties wordt het volgende aanbevolen:

A. In de wetgeving op te nemen dat er een overgangstermijn moet komen waarin de bestaande railsystemen uitgezonderd zijn van de nieuwe eisen.

B. Na acceptatie van het wetsvoorstel in lagere regelgeving de overgangstermijn en bijbehorende voor waarden verder uit te werken.

9 Risico lange hersteltijden bij met kabel aangesloten uitlopers, GIS-installaties en HS/MS-transformatoren

9.1 Samenvatting en advies

Uitlopers in het 110/150kV-net welke geheel of gedeeltelijk zijn aangesloten met kabel dragen inherent het risico op een langdurige onderbreking. Dit in geval van een meervoudige niet beschikbaarheid van circuits (storing gedurende reparatie nevencircuit) en als gevolg van de lange reparatieduur.

GIS-installaties dragen eveneens een risico op een langdurige onderbreking omwille van dezelfde reden. In een vermaasd net ligt het risico bij het niet beschikbaar raken van beide railsystemen. Bij GIS-installaties in een uitloper ligt de kans van optreden nog iets hoger omdat ook het verlies van de twee voedende circuits of afgaande transformatorvelden tot een langdurige storing kan leiden.

Ook bij het niet beschikbaar zijn van een HS/MS-transformator en een storing aan de neventransformator of in de keten hiervan (HS- of MS-veld, HS- of MS- aansluitkabel) kan een langdurige storing optreden. De kans hierop is klein als gevolg van de zeer beperkte tijdsduur dat één van de transformatoren niet beschikbaar is door revisie of vervanging en de kleine kans dat op hetzelfde moment een storing optreedt.

Alternatieven

- Alternatieven voor kabels zijn er eigenlijk niet, anders dan de uitbreiding met meer circuits. De hersteltijd kan tot een minimum worden teruggebracht door een goede voorbereiding. Ondanks goede voorbereiding is 48 uur een gebruikelijke hersteltijd voor moderne kabeltechnieken.
- Bij nieuwe GIS-installaties kan de langdurige onderbreking worden voorkomen door er conceptueel rekening mee te houden en te investeren in een uitgebreidere installatie (opdeling installaties, toepassen brandwerendheid). Bij bestaande installatie moet de oplossing worden gevonden in voorbereide voorzieningen om de installatie te overbruggen.
- Het beschikbaar hebben van transformatoren, die in geval van nood verplaatst kunnen worden naar het station met de calamiteit, en het gereed hebben van plannen welke transformator waarvoor en hoe beschikbaar gemaakt kunnen worden.

Afwegingscriteria

Bij de afweging is rekening gehouden met de geringe kans van optreden en de hoge kosten voor het versterken van alle uitlopers. Tevens is rekening gehouden met de eerdere keuze van de Minister om niet generiek over te gaan tot de versterking van alle uitlopers, maar een risicogedreven benadering te hanteren. Tevens is gelet op de politieke en maatschappelijke onrust die ontstaat bij een langdurige onderbreking zoals bij de Bommelerwaard en Haaksbergen.

Conclusies

- Ook in het geval van een zeer kleine kans van optreden is het ontstaan van een langdurige onderbreking van de levering heden ten dage onacceptabel. Een norm voor een maximale onderbrekingsduur van 48 uur is daarom gewenst.
- Bestaande, uitfaserende kabeltechnieken gebaseerd op oliedruk hebben een uitzondering nodig op de eis van 48 uur. Voor deze kabels is de reparatietijd en dus hersteltijd van een onderbreking maximaal 4 dagen. De beperkte toename in maximale onderbrekingsduur in combinatie met de zeer kleine kans en het uitfaserende karakter van deze kabels geeft een begrensd risico dat acceptabel wordt geacht.
- Voor transformatoren kan op basis van het geringe risico op een langdurige onderbreking bij revisie en vervanging een maximale onderbreking worden toegestaan van 100 MW gedurende maximaal 48 uur.

- Voor nieuwe GIS-installaties betekent de norm van 48 uur meerkosten van circa 15%. De consequenties voor het bestaande net zijn, met toepassing van een overgangsmaatregel, ook beperkt in omvang. De overgangmaatregel is van toepassing op GIS-installaties gevoed door UGD-kabels. Voldoen aan de nieuwe eis betekent een aanpassing van zes netuitlopers en totaal kosten van circa 45 miljoen Euro.

Voorstel ontwerpcriteria tijdens vervanging, reparatie of modificatie

<u>Voor netuitlopers, GIS-systemen en HS/MS-transformatoren in nieuwe situaties:</u>

- Tijdens volledig in bedrijf zijnd 110/150kV net een onderbreking van maximaal 100MW gedurende maximaal 10 minuten toegestaan conform algemene regel op 110/150kV.
- Tijdens onderhoud in 110/150kV netten een maximale onderbreking toegestaan van 100MW, gedurende maximaal 6 uur conform huidige E-wet.
- Bij reparatie, vervanging en modificatie een maximale onderbreking van 100 MW, gedurende maximaal 48 uur.

48 uur is gebaseerd op de reparatietijd voor kunststof kabeltechnologie en vervangingstijd voor transformatoren. GIS-installaties zouden in 48 uur overbrugd moeten kunnen worden door het "kappen" van kabels en doorverbinden naar de HS/MS-transformator.

<u>Voor bestaande situaties:</u>

- Bij reparatie, vervanging en modificatie van kabels in netuitlopers een maximale onderbreking van 100MW, gedurende maximaal 4 dagen (*op basis reparatietijd oliedruk-kabels*).
- Bij reparatie en modificatie van bestaande GIS-systemen op 110/150kV een maximale onderbreking van 4 dagen (op basis overbruggingstijd bij oliedruk-kabels)
- Een overgangstermijn voor oplossen van de langere hersteltijd van netuitlopers alleen gevoed door UGD-kabel.

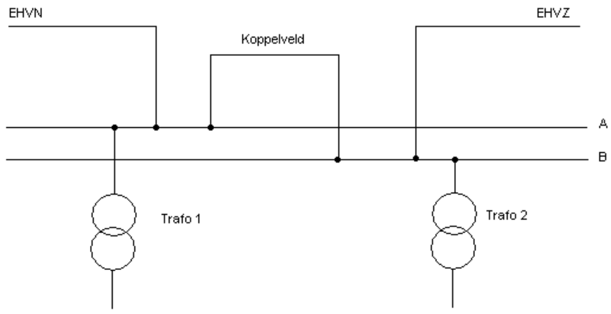
Opgemerkt wordt dat de kans dat er daadwerkelijk een langdurige onderbreking plaatsvindt bij een reparatie, vervanging of modificatie zeer klein is. In het ongelukkige geval dat daadwerkelijk een onderbreking plaatsvindt met een lange herstelduur, wordt reactief via inzet van noodstroom aggregaten een deel van de belasting tussentijds van spanning voorzien worden. Zoals door de minister gerapporteerd aan de Tweede Kamer, staan (op basis van het E-Bridge rapport) de benodigde investeringen voor het proactief grootschalig inzetten van noodstroom aggregaten niet in verhouding tot het risico. Wel denkt de sector dat er geïnnoveerd kan worden in concepten en faciliteiten die het sneller en grootschaliger aansluiten van noodstroom aggregaten mogelijk maken.

9.2 Inleiding

Het gebruik van ondergrondse kabelverbindingen heeft voor- en nadelen ten opzichte van het gebruik van bovengrondse lijnverbindingen. Het belangrijkste voordeel is de landschappelijke inpassing en daarmee gepaard gaande maatschappelijke acceptatie. Een belangrijk nadeel van kabelverbindingen is de relatief lange herstel/reparatietijd ten opzichte van lijnverbindingen.

Vergelijkbare voor- en nadelen gelden ook voor het gebruik van GIS-verdeelsystemen. Deze compacte systemen maken het mogelijk HS-stations te stichten binnen een relatief kleine ruimte. Nadelen echter liggen ook in de lange hersteltijden als (een deel van) de GIS-installatie geopend moet worden of erger verloren gaat. Nadat een deel van de GIS installatie geopend is geweest, zal dit deel eerst een twintigtal uren geconditioneerd moeten worden alvorens het weer onder spanning gebracht kan worden.

Met het toenemende gebruik van kabels en GIS-systemen op het 110kV en 150kV netvlak is het van belang dat de risico's die samenhangen met de relatief lange hersteltijden worden begrepen en bewust worden geaccepteerd of (gedeeltelijk) gemitigeerd met een verhoogd kostenniveau. Het risico op een lange onderbrekingsduur speelt bij met kabels aangesloten netuitlopers (Figuur 19) en bij GIS-installaties in het algemeen. De lange onderbrekingsduur is het gevolg van de benodigde hersteltijd bij reparatie van deze technieken. Bij falen tijdens onderhoud of totale verlies van een GIS-installatie door bijvoorbeeld brand kan eenvoudig een onderbreking van de levering ontstaan > 48 uur.



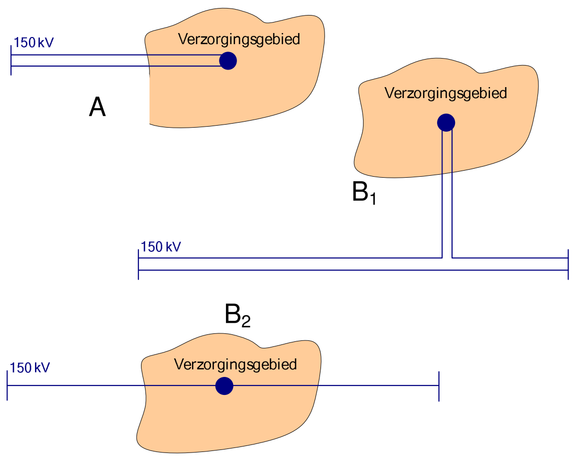
Figuur 19: voorbeeld typische netuitloper

Ook in het geval dat beide transformatoren niet beschikbaar zijn ontstaat gemakkelijk een langdurige storing dit als gevolg van reparatieduur bij revisiewerkzaamheden aan een transformator of benodigde tijd voor een transformator-uitwisseling.

9.3 Huidige leveringszekerheid

In het Nederlandse 110/150kV-net komen circuit circa 75 netuitlopers voor. Deze voeden gezamenlijk ongeveer 1/3 van de totale vraag. Netuitlopers kennen een aantal verschijningsvormen die hier onder aan de hand van Figuur 20 toegelicht worden.

Netuitloper vorm A staat ook wel bekend als een "Steekverbinding". In deze uitvoeringsvorm wordt een HS-station in een verzorgingsgebied gevoed vanuit één enkel ander HS-station middels twee kabels of een bovengrondse hoogspanningslijn met twee circuits. Indien er in het verzorgingsgebied geen HS-schakelinstallatie staat en de kabels of bovengrondse lijnen direct aangesloten worden op een HS/MS-transformator, staat de netuitloper bekend als uitvoeringsvorm "transformator op steel" .



Figuur 20: Uitvoeringsvormen uitlopers

Netuitloper type A bestaat ook in de vorm van een aansluiting van de Regionale Netbeheerders. In dit geval ligt de "knip" van de "aansluiting" op het voedende HS-station en gaan er twee kabels of bovengrondse lijnen naar twee HS/MS-transformatoren die het verzorgingsgebied voeden. Er bevindt zich geen HS-schakelinstallatie in het voedingsgebied. Deze uitvoeringsvorm staat ook bekend onder de naam

"verlengde aansluiting". Verschil met de uitvoeringsvorm "transformator op steel" is slechts juridisch en gelegen in de lokatie van de "knip" van de "aansluiting". In het geval van een verlengde aansluiting ligt de "knip" op het voedende HS-station, bij een "transformator op steel" ligt de "knip" op de voedende klemmen van de HS/MS-transformator in het verzorgingsgebied.

Netuitlopers met uitvoeringsvorm B_1 en B_2 staan bekend onder het type "Inlussing". (B1 veelal inlussing in bovengrondse lijn verbinding en B2 veelal inlussing in ondergrondse kabelverbinding. Bij een "inlussing" wordt het HS-station in het verzorgingsgebied gevoed vanuit twee andere HS-stations maar per station met slechts één verbinding. Het HS-station in het verzorgingsgebied (de uitloper) kent dan ook net zoals bij uitvoeringsvorm A maar twee voedende circuits.

Meest kwetsbaar zijn de netuitlopers met steekverbindingen uitgevoerd als lange bovengrondse lijnen (common cause) en inlussingen door middel van lange kabelverbindingen in verband met reparatieduur.

Tenslotte vormen GIS-installaties in het algemeen en bij uitlopers in het bijzonder een risico op een lange onderbreking duur. Dit in geval delen van het railsysteem voor reparatie geopend zijn of indien een installatie geheel of gedeeltelijk verloren gaat door bijvoorbeeld brand.

9.3.1 Hersteltijden kabels en GIS

De hersteltijden zijn een maat voor het risico op langdurige onderbreking van de levering. Onderstaande tabel geeft per kabeltechnologie de minimale hersteltijden voor kabelreparaties onder gunstige omstandigheden, het werken met meerdere parallelle kabelreparatie-teams en 24/7 inzet.

Kabeltechnologie	hersteltijd bij storing	hersteltijd bij geplande activiteit
Kunststofkabel	36 – 42 uur	26 - 32 uur
Oliedrukkabel	62 - 84 uur	52 - 74 uur
Uitwendige gasdrukpijpkabel (UGD)	261 - 270 uur	251 - 260 uur

Bovenstaande tijden worden langer in het geval de kabels op een GIS-installatie zijn aangesloten. Voor het testen van de gerepareerde kabel kan het voorkomen dat het spanningstransformator compartiment van de GIS installatie geopend moet worden en vervolgens weer gesloten en geconditioneerd.

Bij het open en reviseren van delen van een GIS-installatie moet rekening gehouden worden met de conditioneringtijd die bovenop de reparatietijd van de GIS-installatie komt. Voor een goed voorbereide reparatie aan een GIS-systeem dat geopend moet worden, is een hersteltijd van 1 à 2 dagen gebruikelijk indien de reparatie abrupt moet worden afgebroken bij een calamiteit.

9.4 Leveringszekerheid tijdens normaal bedrijf

Bij normaal bedrijf (volledig in bedrijf zijnd net) kan alleen een common cause failure aanleiding geven voor een onderbreking van de levering. Aanleidingen hiervoor zijn bij kabel bijvoorbeeld het slaan van damwandprofielen en brand in geval van een GIS-installatie in een gebouw. Deze fenomenen hebben een geringe kans van optreden, maar wel een groot effect op de samenleving.

9.5 Leveringszekerheid tijdens reparatie, vervanging of modificatie

Het risico op langdurige onderbreking van de transportdienst bij netuitlopers hangt samen met het potentieel falen van de redundante kabel of het redundante GIS-veld, in geval van een uitloper, gedurende een reparatie of aanpassing van de eerste kabel of veld. Dit risico speelt met name voor netuitlopers doordat deze slechts twee verbindingen hebben en er bij het gezamenlijk uit bedrijf raken van deze verbindingen geen enkele mogelijkheid is om nog (een gedeelte van) het vermogen van of naar het station te brengen. Een langdurige onderbreking van de aangeslotenen kan het gevolg zijn.

In de praktijk kunnen een drietal hoofdsituaties onderkend worden waarin zich het risico op lange hersteltijden kan manifesteren tijdens reparatie, vervanging of modificatie.

Storing in de redundante verbinding gedurende:

1. het repareren van een storing aan de eerste verbinding
2. een reconstructie van de eerste verbinding;
3. een vervanging of revisie van de eerste verbinding;

9.5.1 Storing gedurende reparatie eerste storing

Wettelijk gezien valt deze situatie buiten het ontwerpcriterium van enkelvoudige storingsreserve (er is namelijk geen tijdsduur gedefinieerd waarbinnen een storing moet zijn hersteld, gedurende de storing is het net niet meer bestand tegen een tweede storing) en hoeven er in het ontwerp en de bedrijfsvoering geen maatregelen genomen te worden. In de praktijk is er echter altijd de kans op de tweede storing met een mogelijk lange onderbreking als gevolg.

In de wetgeving kent situatie 1 ook een grijs gebied daar er ook storingen aan kabels zijn, zoals bijvoorbeeld olielekkage, waarbij de reparatie op een acceptabele termijn gepland kan worden. Het onderscheid storing versus reparatie is in deze situatie minder duidelijk.

9.5.2 Reconstructie en vervanging

Bij de situaties 2 en 3, is er in principe sprake van een geplande risicovolle situatie doordat één van de verbindingen of GIS velden gepland uit bedrijf genomen wordt voor een modificatie. Aanleiding voor de reparatie/vervanging of modificatie kan komen van een extern gewenste reconstructie van het huidige tracé of kan komen door het noodzakelijk vervangen van verouderde delen van de kabel of GIS-installatie. Deze reparatie/vervanging of modificaties nemen bij een goede voorbereiding en 24/7 werken, enkele dagen tot in totaal 2-3 weken in beslag. Gedurende deze tijd is er geen enkelvoudige storingsreserve voor de uitloper en zal het volledige vermogen (belasting en opwek) uitvallen bij een fout in de overgebleven verbinding.

De hersteltijd in situaties 2 t/m 4 is sterk afhankelijk van de situatie en locatie. Het kan bijvoorbeeld zijn dat een storing aan de nog in bedrijf zijnde verbinding snel is op te lossen waarmee herstel binnen enkele uren kan plaatsvinden. Het kan ook zijn dat het GIS-station van de uitloper overbrugd kan worden door een bovengrondse hoogspanningslijn tijdelijk direct door te verbinden met een transformator. Bij een goede voorbereiding kan ook dit binnen 24 uur geregeld zijn. Het kan echter ook zijn dat er sprake is van een falende UGD-kabel, direct aangesloten op een GIS installatie waardoor er gedurende twee weken geen enkel herstel van de hoogspanningsvoorziening mogelijk is. Het enige dat dan mogelijk is om de effecten te verkleinen is het inzetten van noodstroom aggregaten om een deel van de maatschappelijk meest relevante instellingen te voorzien van spanning.

Bij de inzet van noodstroom aggregaten moet beseft worden dat de opsteltijd enkele uren zal bedragen en naarmate er meer vermogen aangesloten moet worden dit meer tijd tot dagen gaat vergen. Met een

vermogen van ongeveer 2 MVA per 40 voet container zal de impact op het straatbeeld aanzienlijk zijn indien meer en meer van deze zeer grote diesel-aggregaten in het straatbeeld operationeel zijn. Dit is ook beschreven en geanalyseerd in het E-bridge rapport van december 2006 naar aanleiding van de langdurige uitval in Haaksbergen.

9.6 Samenvatting mitigerende maatregelen

1. Verschillende tracés voor de twee circuits die de uitloper voeden

   Deze mitigerende maatregel werkt alleen op common cause fouten verdere risico's worden nauwelijks gemitigeerd.

2. Zodanig ontwerpen dat een GIS station in nood overbrugd kan worden

   Dit mitigeert het probleem van langdurige onderbrekingen bij reparatie en vervanging van GIS installaties. Vergt preventief aanbrengen van extra eindsluitingen (niet direct met kabel in GIS) het gebruik van HS/MS transformatoren zonder kabelinvoer

   Tegen brand kan een GIS-installatie elektrisch worden opgedeeld en eventueel fysiek in meerdere gebouwen worden geplaatst.

3. Derde verbinding naar netuitlopers (opheffen uitloper)

   Mitigeert het probleem van de lange reparatietijd van kabels en gedeeltelijk de problematiek van de GIS-installaties.

4. Noodstroom aggregaten om direct het MS- en LS-net van energie te voorzien bij uitval

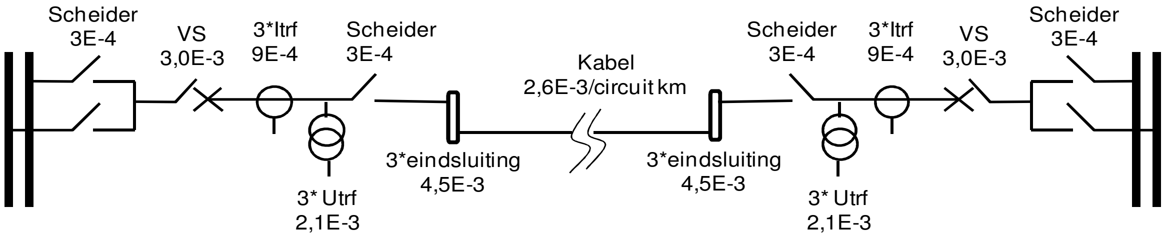
   Inzet na onderbreking transportdienst (door het donker). Mitigeert in principe zowel kabel als GIS als common cause failure problematiek. Nadeel is de benodigde opsteltijd in combinatie met de fysieke beperkingen grote hoeveelheden noodstroom aggregaten te koppelen aan het MS-/LS-net. Voordeel van deze mitigatie is dat één pool van noodstroomaggregaten op alle netuitlopers kan worden ingezet.

9.7 Kans op een storing gedurende de modificatie van de verbinding of GIS-veld

De kans op een langdurige onderbreking begint op het moment dat de GIS-installatie geopend wordt of de kabel "geknipt" vanaf dat moment is de betreffende verbinding voor 24 uur tot 2 á 3 weken onbeschikbaar, ook in geval van een calamiteit.

De hoogte van de kans op een langdurige onderbreking is afhankelijk van de kans dat de (laatst) nog in bedrijf zijnde kabel of GIS-veld faalt gedurende de modificatietijd. Uitgaande van een standaard verbinding kan deze faalkans ingeschat worden op basis van de Nestor storingsgegevens van de componenten in deze verbinding.

Onderstaand figuur 3 toont een standaard kabelverbinding met bijbehorende velden. Daarnaast zijn de faalkansen (/jaar) van de verschillende componenten aangegeven op basis van de Nestor storingsdata voor het 110/150kV net over de jaren 2008-2012.



Figuur 21: Standaard kabelverbinding met jaarlijkse faalkans op basis Nestor 110/150kV data over jaren 2008-2012.

Opgemerkt wordt dat op basis van Cigré documenten een beter onderscheid gemaakt kan worden van het type storingen in de veldcomponenten en de gevolgen daarvan voor de hersteltijd. De gepresenteerde getallen bij de componenten in de schakelvelden zijn in dat opzicht conservatief. Daar echter de storingskans van het kabelsysteem (eindsluitingen + kabel) voor meer dan 80% bepalend is bij een netuitloper met 10 km kabel wordt de nuancering in in faalkans van de veldcomponenten op dit moment niet verder uitgewerkt.

Niet alle faalfrequenties zijn van belang voor het bepalen van het risico op een langdurige (> 6 uur) onderbreking. Vaak kunnen storingen in een AIS-veld (openlucht aanleg) wel binnen 6 uur opgelost of overbrugd worden. Dit is niet het geval voor storingen aan de kabel of kabeleindsluitingen of een GIS-veld. Bij ernstige storingen aan deze componenten bedraagt de hersteltijd minimaal 24 uur.

Om inzicht te geven in de kans op langdurige onderbrekingen geduurende de levensduur van een netuitloper moeten een aantal aannamen gebruikt worden die in onderstaande tabellen zijn opgesomd.

Aannamen kabels					
Technologie	**Reparatietijd**		**Kans op storingen**		
Kunststof	36 uur		Kabel (gemiddeld)	2,97E-7	per uur, per circuit km
Oliedruk	75 uur		Kabel (oud[1])	2,97E-6	per uur, per circuit km
UGD	260 uur		Eindsluiting	1,71E-7	Per uur, per fase
Events over de levensduur (50 jaar) van de kabel waarbij volle reparatietijd optreedt					
Aantal storingen gedurende levensduur uitloper			6 stuks	Faalkans oude kabel[2]	
Aantal reconstructies gedurende levensduur uitloper			2 stuks[3]	Faalkans nieuwe kabel[4]	

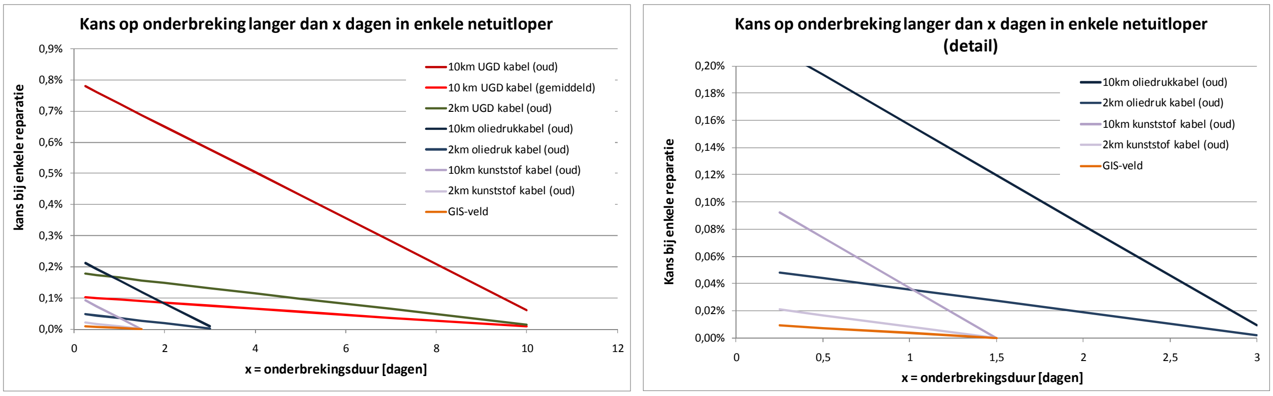
[1]Als een kabel veroudert, stijgt de storingsfrequentie. Aangenomen is dat de storingsfrequentie worst case een factor 10 stijgt.
[2]Aangenomen wordt dat storingen en vervangingen van kabeldelen met name plaatsvinden als de kabel ouder is en dus vaker stoort.
[3]Bij één enkele reconstructie ontstaan twee events op een langdurige onderbreking omdat twee kabels verlegd moeten worden.
[4]Voor reconstructies wordt een gemiddelde faalkans aangenomen daar reconstructies gedurende de hele levensduur kunnen plaatsvinden.

Aannamen GIS					
Activiteit	**Reparatietijd**		**Kans op storingen**		
1 veld	36 uur		Primaire componenten op basis Nestor data	7,53E-7	per uur, per veld
Velden per revisie	4 stuks				
Events over de levensduur (60 jaar) van de GIS waarbij volle reparatietijd optreedt					
Revisies				3 stuks	

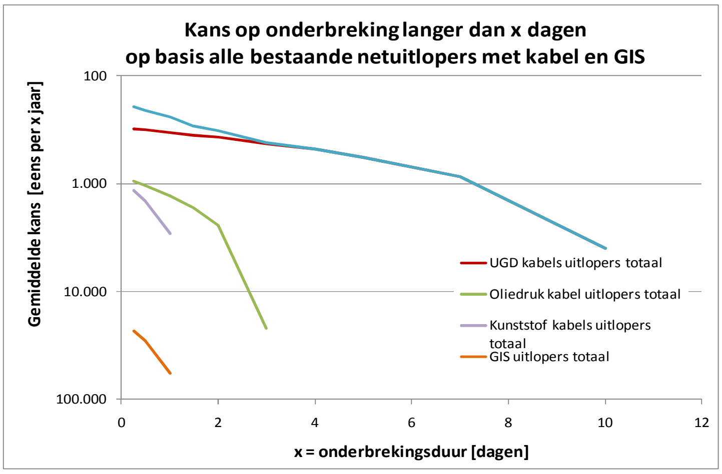
Inventarisatie uitlopers met risico op langdurige onderbreking			
Technologie	**Aantal uitlopers**	**Totaal aantal tracé km**	**Gemiddelde belasting**
Kunststof kabel	13	77 km	66 MW
Oliedruk kabel	6	41 km	87 MW
UGD kabel	6	34 km	70 MW

GIS	8	n.v.t.	70 MW

Met behulp van bovenstaande aannamen en inventarisatie kan inzicht verschaft worden in de kans op langdurige onderbrekingen. Onderstaande figuren laten de kans zien op een onderbreking langer dan x dagen als gevolg van een enkele reparatie/vervanging (Figuur 22)en als de gemiddelde totale frequentie over alle bestaande netuitlopers met kabel en GIS (Figuur 23).



Figuur 22: Kans op een onderbreking langer dan x dagen tijdens een enkele reparatie



Figuur 23: Gemiddelde kans op een onderbreking langer dan x dagen voor alle bestaande netuitlopers met kabel en GIS.

Hieruit komt voor dat UGD-kabels en oliedrukkabels bij netuitlopers een potentieel risicovormen op een zeer langdurige onderbreking (>48 uur). De kans dat een GIS-veld in een uitloper aanleiding geeft tot een langdurige onderbreking is betrekkelijk gering.

GIS-installaties kunnen in het vermaasde net (niet netuitloper), bij de voeding van twee transformatoren naar het middenspanning ook aanleiding geven voor een onderbreking >48 uur als beide GIS-transformatorvelden niet beschikbaar raken. Tenslotte kan dit ook optreden bij het niet beschikbaar raken van beide railsystemen. De faalkans van een GIS-rail op HS-niveau is $2{,}0.10^{-3}$ jaar. De kans op een leveringsonderbreking bij regulier onderhoud is zeer klein vanwege de beperkte tijdsduur van het onderhoud en daarbij geldt een relatief snel herstel binnen 6 uur. Alleen wanneer over de gehele levensduur van de GIS-installatie wordt gekeken is er een kans op en langdurige storing als gevolg van een 'geopende' installatie. Deze kans ligt in de ordegrootte van $6{,}15.10^{-6}$ ((8 weken/ (50jaar*52weken))*storingskans). Dit is exclusief de kans op een common cause failure. De kans van

optreden is dus erg laag, maar de gevolgen van een langdurige onderbreking groot zodat een overweging voor maximalisatie van de storingsduur toch voor de hand ligt.

9.8 Conclusies risico lange hersteltijden bij met kabel aangesloten netuitlopers en GIS-installaties

Netuitlopers in de 110/150kV-netten die geheel of gedeeltelijk zijn aangesloten met ondergrondse kabels dragen een risico op een langdurige onderbreking van de levering als gevolg van de lange hersteltijden van deze kabels. De hersteltijd is afhankelijk van de toegepaste kabeltechnologie en bedraagt in vrijwel alle gevallen meer dan 48 uur. De kans van optreden van een kabelstoring hangt samen met de lengte van de kabel en eveneens met de technologie. De weinig toegepaste UGD-kabel tekent hier slecht af, op zowel voor wat betreft de ouderdom als de hersteltijd. Het laatste is mee het gevolg van benodigde standtijden alvorens de verbinding weer in bedrijf kan worden genomen. De in het verleden veelvuldig toegepaste oliedrukkabel doet het beter, maar de reparatietijd ligt nog altijd ruim boven de 48 uur. Alleen de moderne XLPE-kabel kan bij een geplande activiteit in 26 uur worden hersteld.

GIS-installaties dragen eveneens het risico in zich op een langdurige onderbreking van de levering. Dit kan ontstaan onder normaal bedrijf met bijvoorbeeld brand of tijdens reparatie, vervanging of modificatie bij storing aan het resterende railsysteem. Hierdoor kan een onderbrekingsduur ontstaan groter dan 48 uur. Bij nieuwe installaties kunnen maatregelen worden getroffen in het ontwerp van de installatie zelf (langsscheiding) en separatie van gebouwen door brandwerende scheidingswanden of verdeling van de installatie over meerdere gebouwen. Het laatste maakt de installatie kostbaar en doet het belangrijkste voordeel van een GIS-installatie (ruimtebesparing grotendeels teniet). Bij bestaande installaties zijn de mogelijkheden tot verbetering beperkt en kan gedacht worden aan een voorbereide mogelijkheid overbrugging van de GIS-installatie of een beperkte inzet van noodstroom aggregaten.

Ook al is de kans van optreden van voornoemde fenomenen zeer klein, is het maatschappelijk gezien wel van belang een bovengrens te stellen aan de maximale onderbrekingsduur. Dit kan voor nieuwe situaties worden gesteld op maximaal 48 uur, een uitzondering voor uitfaserende oliedrukkabels van 4 dagen en een overgangstermijn voor het oplossen van de langere hersteltijd van netuitlopers gevoed door UGD-kabels.

9.9 Kans op een langdurige onderbreking bij reparatie, vervanging of modificatie van een HS/MS-transformator

Transformatoren tussen het HS-net (110/150kV) en het MS-net kunnen de oorzaak zijn van een langdurige storing, omdat tijdens een grote reparatie, aanpassing of vervanging van één transformator een andere transformator of het bijbehorende schakelveld gestoord kan raken. Ook combinaties van reparatie van een transformator aan de ene kant en een storing aan de andere kant, bijvoorbeeld aan het voedende HS-veld, het MS-veld, de HS- of MS-verbinding kan tot een langdurige onderbreking van de levering leiden. Voornoemde gevallen zijn echter altijd binnen weer binnen 48 uur op te lossen en in de meeste gevallen binnen 24 uur. De langste hersteltijd wordt veroorzaakt doordat transformatoren na verplaatsing of na opening voor reparatie een zekere tijd moet conserveren (ontluchten) alvorens deze weer veilig in bedrijf kunnen worden gesteld. Dit conserveren kan ook in geval van een calamiteit niet worden genegeerd.

Het risico op een langdurige onderbreking doet zich alleen voor bij revisie/reparatie werkzaamheden aan een transformator (regelschakelaar), bij preventieve vervanging of in het geval van een fatale storing aan een transformator. Revisietermijnen van transformatoren liggen in de orde grootte van 5 dagen per 10 jaar,

geplande transformator vervanging eens per 20 tot 30 jaar gedurende 5 dagen, dit geldt ook voor ongeplande uitwisseling zij het dat soms extra tijd benodigd is voor het aanvoeren van een transformator. De tijdsduur van het aanwezige risico is daarmee beperkt en de kans van het gelijktijdig optreden van een storing is zo klein dat, ondanks het grote aantal HS/MS-transformatoren in Nederland, zich zo'n samenloop van omstandigheden de afgelopen dertig jaar niet heeft voor gedaan. Dit resulteert in de conclusie dat bij reparatie en vervanging van een transformator een uitzondering op de enkelvoudige storingsreserve waarbij een mogelijke onderbreking begrensd is op 100 MW gedurende maximaal 48 uur verantwoord is.

9.10 Aanbevelingen

Voor kabels in netuitlopers, GIS-systemen en HS/MS-transformatoren in nieuwe situaties:

- Tijdens volledig in bedrijf zijnd 110/150kV net een onderbreking van maximaal 100MW gedurende maximaal 10 minuten toegestaan conform algemene regel op 110/150kV.
- Tijdens onderhoud in 110/150kV netten een maximale onderbreking toegestaan van 100MW, gedurende maximaal 6 uur conform huidige E-wet.
- Bij reparatie, vervanging en modificatie een maximale onderbreking van 100MW, gedurende maximaal 48 uur.

48 uur is gebaseerd op de reparatietijd voor kunststof kabeltechnologie en vervangingstijd voor transformatoren. GIS zou in 48 uur overbrugd moeten kunnen worden door het "kappen" van kabels en doorverbinden naar de HS/MS-transformator.

Voor bestaande situaties:

- Bij reparatie, vervanging en modificatie van kabels in netuitlopers een maximale onderbreking van 100MW, gedurende maximaal 4 dagen (*op basis reparatietijd oliedruk-kabels*).
- Bij reparatie en modificatie van bestaande GIS-systemen op 110/150kV een maximale onderbreking van 4 dagen (op basis overbruggingstijd bij oliedruk-kabels)
- Een overgangstermijn voor oplossen van de langere hersteltijd van netuitlopers alleen gevoed door UGD-kabel.

Opgemerkt wordt dat de kans dat er daadwerkelijk een langdurige onderbreking plaatsvindt bij een reparatie, vervanging of modificatie zeer klein is. In het ongelukkige geval dat daadwerkelijk een onderbreking plaatsvindt met een lange herstelduur, wordt reactief via inzet van noodstroomaggregaten een deel van de belasting tussentijds van spanning voorzien worden. Zoals door de minister gerapporteerd aan de Tweede Kamer, staan (op basis van het E-Bridge rapport) de benodigde investeringen voor het proactief grootschalig inzetten van noodstroom-aggregaten niet in verhouding tot het risico. Wel denkt de sector dat er geïnnoveerd kan worden in concepten en faciliteiten die het sneller en grootschaliger aansluiten van noodstroomaggregaten mogelijk maken.

10 Aansluitingen en enkelvoudige storingsreserve

10.1 Samenvatting en advies

Aangezien aansluitingen op grond van jurisprudentie beschouwd worden als onderdeel van het net, is het noodzakelijk om ook voor aansluitingen vast te stellen of ze – al dan niet onverkort – onderworpen moeten zijn aan de wettelijke spelregels voor enkelvoudige storingsreserve.

Op grond van de overwegingen in dit hoofdstuk wordt voorgesteld om bij individueel gebruikte aansluitingen (dat wil zeggen aansluitingen van individuele verbruikers, producenten of gesloten distributiesystemen) de aangeslotene zelf te laten bepalen of zijn aansluiting enkelvoudig of meervoudig wordt uitgevoerd. Dit geldt voor de gehele aansluiting, dus ook voor de zogeheten "knip", zijnde het punt waar de aansluiting en het net met elkaar zijn verbonden.
Voor aansluitingen van een openbaar net op een ander openbaar net wordt voorgesteld om de normale spelregels voor de enkelvoudige storingsreserve van toepassing te verklaren.

10.2 Inleiding

In de wet- en regelgeving m.b.t. de enkelvoudige storingsreserve worden aansluitingen niet expliciet benoemd. De vraag of de enkelvoudige storingsreserve ook voor aansluitingen moet gelden of juist niet, moet thans op een indirecte wijze beantwoord worden.

Er is een redenering denkbaar die leidt tot de conclusie dat ook voor aansluitingen de regels van de enkelvoudige storingsreserve van toepassing zijn. Uit jurisprudentie is namelijk al herhaaldelijk gebleken dat aansluitingen deel uitmaken van het net. Voor het net gelden de regels voor enkelvoudige storingsreserve. Omdat de aansluiting deel van het net is, gelden de regels voor enkelvoudige storingsreserve dus ook voor de aansluiting, is dan het betoog.

Op grond van onderdelen van lagere regelgeving is ook een andere redenering en conclusie denkbaar. Uit artikel 2.1.4 van de Tarievencode Elektriciteit blijkt namelijk dat de aangeslotene zelf kiest of zijn aansluiting enkelvoudig of meervoudig is. En afhankelijk van zijn keus daar ook voor betaalt door middel van het aansluittarief. Als het een keuzevrijheid van de aangeslotene is om te bepalen of de aansluiting enkelvoudig of meervoudig is, kan niet tegelijkertijd van de netbeheerder worden verwacht dat hij op die aansluiting de spelregels voor enkelvoudige storingsreserve hanteert. Deze redenering leidt dus tot de conclusie dat de enkelvoudige storingsreserve niet geldt voor aansluitingen.

Nu de wettekst met betrekking tot de spelregels voor enkelvoudige storingsreserve toch in heroverweging wordt genomen, is het wenselijk om ook eenduidig vast te leggen hoe in dit kader met aansluitingen moet worden omgegaan.

10.3 Verschillende soorten aansluitingen

We kunnen de aansluitingen op hoogspanningsnetten in vier categorieën opdelen:

1. aansluitingen van verbruikers
2. aansluitingen van producenten
3. aansluitingen van gesloten distributiesystemen
4. aansluitingen van andere "openbare" netten.

Het gemeenschappelijke bij de drie eerstgenoemde categorieën is dat de aansluiting weliswaar tot het net behoort, maar dat deze, anders dan de rest van het net, niet voor openbare doeleinden wordt gebruikt, maar uitsluitend voor energietransport tussen het net en de installatie van de desbetreffende aangeslotene.

Bij de laatstgenoemde categorie is dat anders, want daar dient de aansluiting zelf ook weer een openbaar doel, namelijk het aangesloten "openbare" net met al de daarmee verbonden aangeslotenen.

Op grond van bovenstaande waarneming lijkt het aannemelijk om voor de toepassing van de spelregel voor enkelvoudige storingsreserve onderscheid te maken tussen individueel gebruikte aansluitingen op een openbaar net en aansluitingen van een openbaar net op een ander openbaar net. Bij individueel gebruikte aansluitingen bepaalt de individuele aangeslotene (verbruiker, producent of beheerder van een gesloten distributiesysteem) zelf of hij een enkelvoudige of meervoudige aansluiting wil hebben. De aansluiting valt niet onder het toepassingsbereik van de wettelijke spelregels voor de enkelvoudige storingsreserve. De meerkosten van een eventuele meervoudige aansluiting worden door middel van het aansluittarief bij de desbetreffende aangeslotene in rekening gebracht.

Bij een aansluiting van een openbaar net op een ander openbaar net zijn de wettelijke spelregels voor de enkelvoudige storingsreserve wel van toepassing op de aansluiting. De meerkosten van de meervoudige aansluiting worden immers via het transporttarief weer verdeeld over alle aangeslotenen van die netbeheerder.

10.4 Verschillende onderdelen van de aansluiting

In de Elektriciteitswet 1998 wordt de aansluiting onderscheiden in de onderdelen "knip", "verbinding" en "beveiliging". In het geval van een individueel gebruikte aansluiting, zoals bedoeld in de vorige paragraaf, is het duidelijk dat in elk geval de onderdelen "verbinding" en "beveiliging" ook individueel gebruikt worden. De "knip" is het element van de aansluiting dat gemeenschappelijk is met de rest van het net. De vraag moet dus beantwoord worden of het zinvol en wenselijk is om dit onderdeel primair te beschouwen als onderdeel van de (individuele) aansluiting of primair als onderdeel van het (openbare) net. In het laatste geval zou het redelijk zijn om op de "knip" van de individuele aansluiting toch de spelregels voor de enkelvoudige storingsreserve toe te passen.

Aangezien de rest van de individuele aansluiting niet per se meervoudig hoeft te zijn, heeft het meervoudig uitvoeren van de "knip" geen functionele toegevoegde waarde.
Als de knip wel meervoudig uitgevoerd zou moeten worden, zou bovendien de situatie kunnen ontstaan dat aan dit deel van de aansluiting hogere eisen worden gesteld dan voor het bovenliggende (110 of 150 kV-) net gelden, omdat daarvoor in bepaalde gevallen uitzonderingen gelden (bijv. de 10-minutenregel). Tenslotte blijkt ook uit de tariefstructuur dat de "knip" primair gezien moet worden als onderdeel van de aansluiting. De aangeslotene bepaalt namelijk ook voor dit deel van de aansluiting zelf – in samenhang met de rest van zijn aansluiting – of het enkelvoudig of meervoudig wordt uitgevoerd en betaalt daar dan ook voor via het aansluittarief. Dat niet in wet- en regelgeving wordt voorgeschreven dat (delen van) de aansluiting moet(en) voldoen aan de enkelvoudige storingsreserve laat onverlet dat de individuele aangeslotene toch kan besluiten om zijn aansluiting meervoudig uit te laten voeren en daarvoor ook te betalen.

10.5 Conclusie en aanbevelingen

Op basis van het voorgaande wordt voorgesteld om eenduidig in de wet- en regelgeving vast te leggen dat aansluitingen tussen openbare netten moeten voldoen aan de spelregels voor enkelvoudige storingsreserve die gelden voor het desbetreffende hoogste spanningsniveau waarop wordt aangesloten.

Voor aansluitingen van individueel aangesloten verbruikers, producenten en gesloten distributiesystemen wordt voorgesteld om de bestaande praktijk, die indirect ook blijkt uit de Tarievencode Elektriciteit, in de hogere regelgeving vast te leggen. Dat wil zeggen dat deze aansluitingen niet hoeven te voldoen aan de regels voor de enkelvoudige storingsreserve voor het desbetreffende spanningsniveau. Bij deze individuele aansluitingen bepaalt de aangeslotene zelf of zijn aansluiting enkel- of meervoudig wordt uitgevoerd en betaalt hij daar ook voor via het individuele aansluittarief.